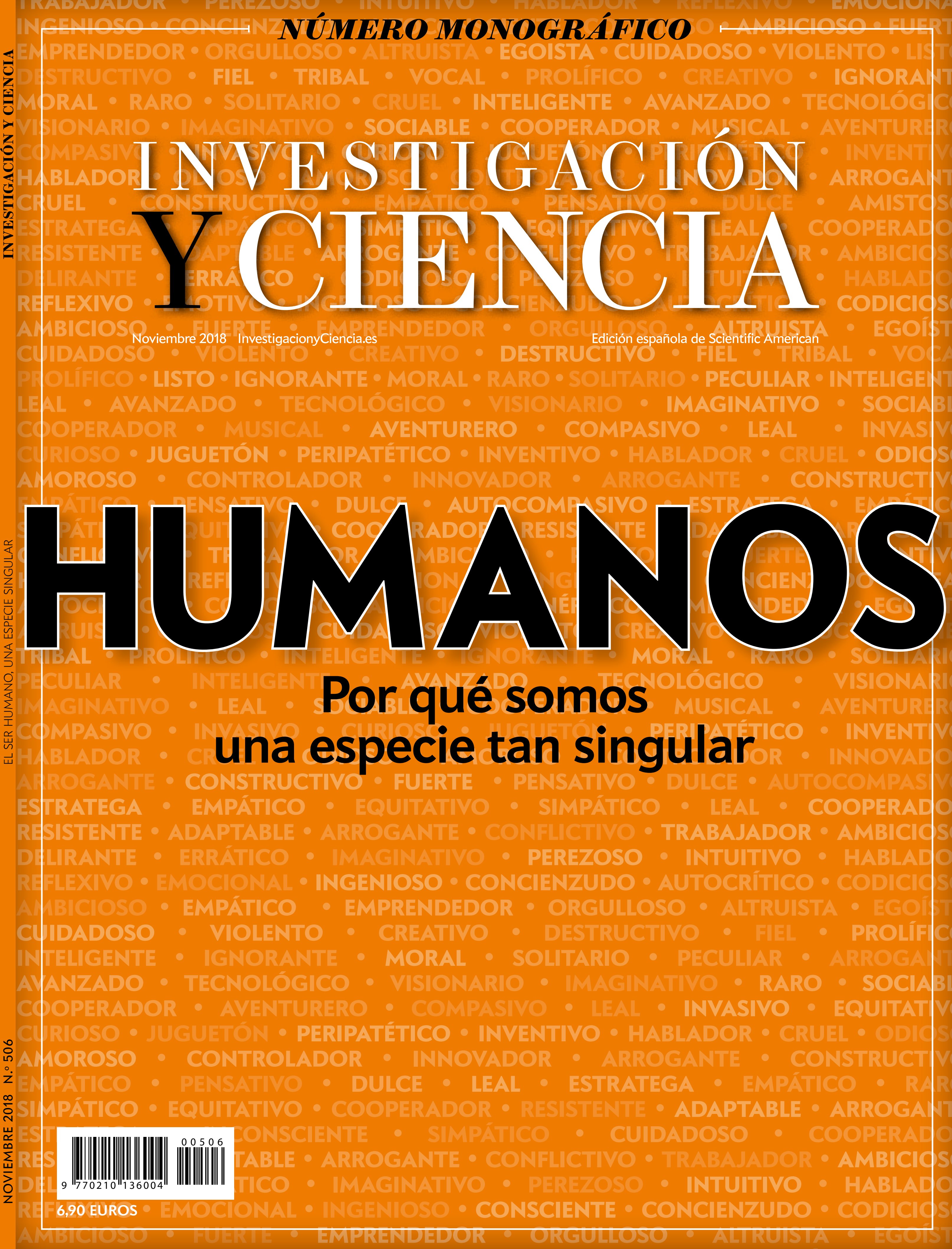

NÚMERO MONOGRÁFICO
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
Noviembre 2018 InvestigacionyCiencia.es
Edición española de Scientific American
HUMANOS
Por qué somos una especie tan singular
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
EL SER HUMANO, UNA ESPECIE SINGULAR
NOVIEMBRE 2018 N.º 506
00506
9 770210 136004
6,90 EUROS

INVESTIGACIÓN
Y CIENCIA

Noviembre 2018, Número 506

NÚMERO MONOGRÁFICO

EL SER HUMANO: UNA ESPECIE SINGULAR

PÁG. 10

ILUSTRACIONES DE VICTO NGAI, YUKO SHIMIZU Y ARMANDO VEVE

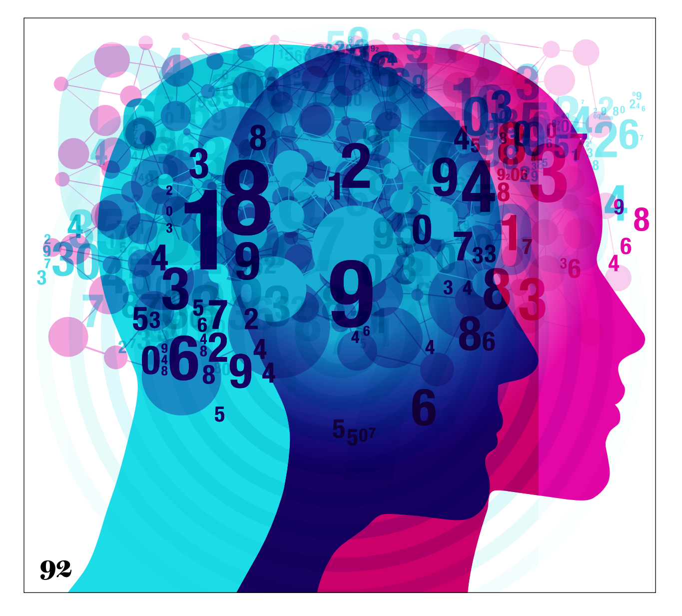












INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

EN PORTADA

En este número monográfico nos hemos propuesto averiguar por qué nuestra especie es tan distinta de todas las demás. ¿A qué se deben sus logros? ¿A un cerebro voluminoso? ¿A un lenguaje altamente estructurado? ¿A una cultura hipersocial? Expertos procedentes de campos tan diversos como las ciencias cognitivas, la psicología, la biología evolutiva, la neurociencia y la lingüística se reúnen aquí para arrojar luz sobre esta compleja cuestión.



redaccion@investigacionyciencia.es



Marzo, Junio y Julio de 2018

¿AXIONES FRÍOS?

El artículo de Leslie Rosenberg «Materia oscura axiónica» [Investigación y Ciencia, marzo de 2018] describe el experimento ADMX, cuyo objetivo consiste en detectar ciertas partículas hipotéticas llamadas axiones que podrían dar cuenta de la materia oscura. Sin embargo, muy al contrario que otras candidatas a explicar la materia oscura, como las WIMP (partículas masivas que interaccionan débilmente), los axiones serían partículas ultraligeras.

Otro tipo de partícula muy ligera es el neutrino. No obstante, hace tiempo que los neutrinos se desestimaron como posibles integrantes de la materia oscura, ya que su poca masa implica que deberían moverse a velocidades próximas a la de la luz. Por tanto, no podrían dar cuenta de la materia oscura a la que parecen apuntar las observaciones astronómicas, la cual es «fría» (es decir, compuesta por partículas que se mueven lentamente). Si los axiones son tan ligeros, ¿cómo es posible que puedan explicar la materia oscura fría?

Daniel Iriarte
Buenos Aires

Responde Rosenberg: *La pregunta es muy interesante. Los neutrinos interaccionan con otras partículas a través de la fuerza nuclear débil. Por tanto, en el universo primitivo tuvieron que interaccionar con materia de todo tipo. Dado que entonces la temperatura era muy elevada, la interacción con otras partículas confirió a los neutrinos una temperatura también muy alta. Ello hizo que se moviesen a velocidades próximas a la de la luz, por lo que hoy solo podrían constituir materia oscura «caliente».*

Los axiones son muy diferentes de los neutrinos. En primer lugar, creemos que se generaron en el universo temprano durante una transición de fase. Aunque ligeros, tales axiones habrían «nacido» moviéndose muy lentamente, con una temperatura muy baja. En segundo lugar, los axiones interaccionan muy poco con la materia ordinaria, mucho menos que los neutrinos. Como consecuencia, casi no lo habrían hecho con la materia del universo temprano, por lo que habrían continuado moviéndose a velocidades muy reducidas. Es decir, habrían seguido siendo axiones «fríos» aun en el baño de partículas calientes del universo primitivo.

Así pues, y por antiintuitivo que pueda parecer, a pesar de ser partículas muy ligeras, los axiones pueden explicar perfectamente la materia oscura fría.

SEÑAL Y RUIDO

«El misterio de las explosiones rápidas de radio», de Duncan Lorimer y Maura McLaughlin [Investigación y Ciencia, junio de 2018], analiza la búsqueda de explosiones de radio en el universo distante. Su historia me ha recordado la época en que trabajaba como estudiante en el radiotelescopio de Green Bank, en Virginia Occidental, en 1968.

Aunque Green Bank se halla en una zona sin demasiadas emisiones de radio, el telescopio detectaba algunos aparatos de los agricultores locales. Sin embargo, sus señales no se desplazaban cuatro minutos al día, como las que estábamos buscando. Pero entonces comenzamos a detectar una señal que aparecía la mayoría de los días a la misma hora sideral. Al final, resultó ser el automóvil de un compañero que llegaba a su turno de observación, cada día cuatro minutos más tarde que el anterior. De haber sabido algo más de mitología, tal vez habríamos bautizado la señal como «peritios». En su lugar, seguimos la nomenclatura del Tercer Catálogo de Fuentes de Radio de Cambridge y la llamamos según las iniciales del conductor: 3C-MMD.

Alan Karp
Palo Alto, California

GRAVEDAD SIN LUZ

En el artículo «Mensajeros celestes», de Ann Finkbeiner [Investigación y Ciencia, julio de 2018], se dice que las primeras detecciones de ondas gravitacionales, procedentes de colisiones de agujeros negros, no permitieron hacer astronomía de multimensajeros ya que los agujeros negros no emiten luz. Sin embargo, los agujeros negros suelen tener a su alrededor discos de material, por lo que, si colisionan, no parece descartable que sus halos de materia generen un pico de emisión electromagnética al caer de forma descontrolada en el nuevo agujero negro.

Javier Merinero
Madrid

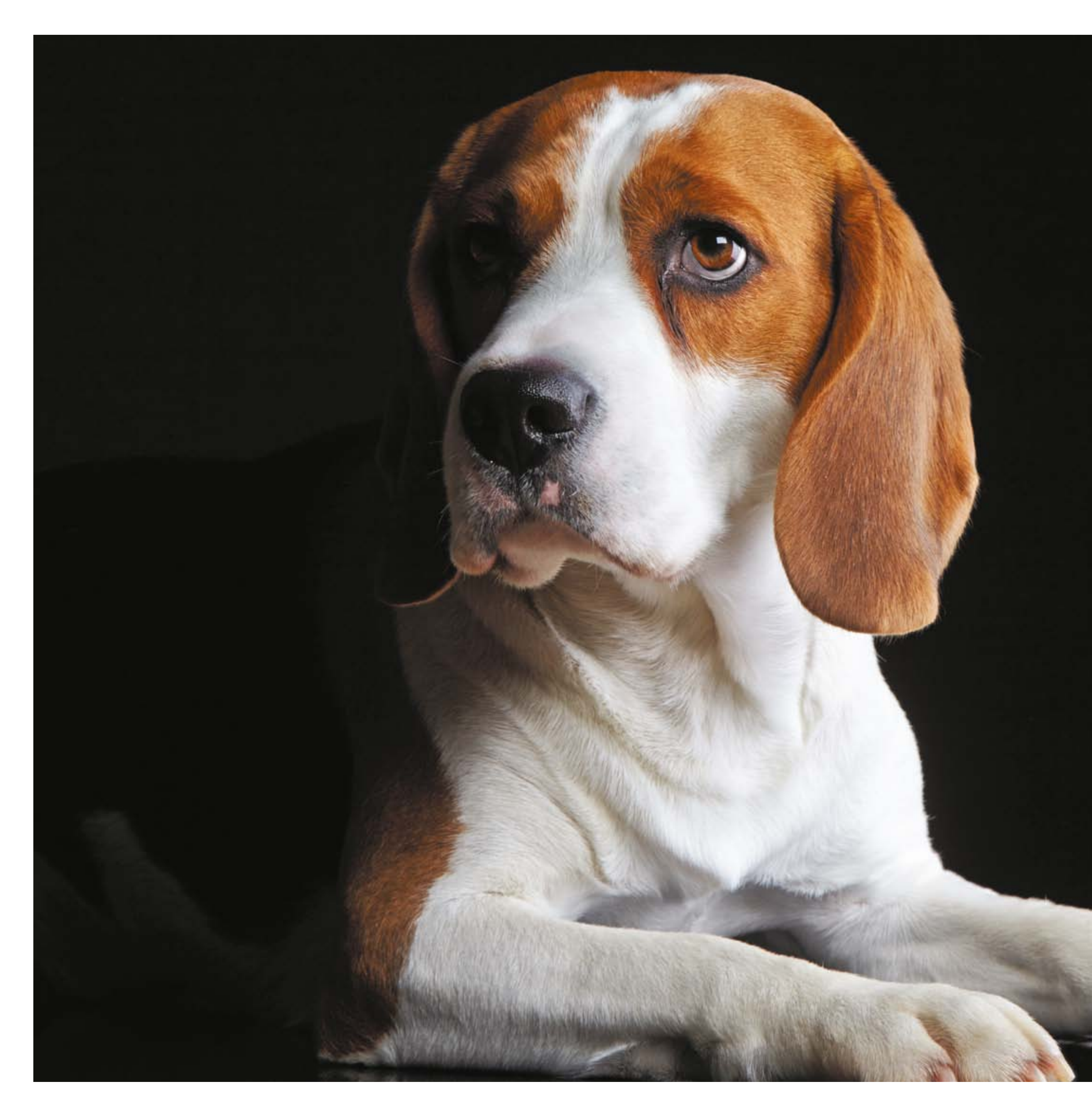
Responde Finkbeiner: *Es razonable suponer que el gas que rodea a dos agujeros negros en colisión pueda emitir radiación electromagnética; de hecho, algunos astrónomos han modelizado cómo podrían ser esas emisiones. Sin embargo, en las colisiones de agujeros negros detectadas hasta ahora, los objetos implicados son de masa estelar (del orden de unas diez veces la masa del Sol), por lo que sus discos no contienen gas suficiente para que las emisiones puedan detectarse con los telescopios. Solo en las colisiones de agujeros negros supermasivos (miles de millones de veces más masivos que el Sol) participaría una cantidad de gas lo suficientemente grande como para que su emisión electromagnética fuera detectable desde la Tierra.*

CARTAS DE LOS LECTORES

Investigación y Ciencia agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:

PRENSA CIENTÍFICA, S. A.
Muntaner 339, pral. 1.ª, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. Investigación y Ciencia se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.



GENÉTICA

Reparación de los músculos debilitados

La edición de genes caninos logra corregir un tipo frecuente de distrofia muscular

La distrofia muscular de Duchenne es una enfermedad degenerativa funesta. De incidencia mayoritariamente masculina, constituye la miodistrofia más frecuente, pues afecta a uno de cada 3500 niños. El deterioro de la musculatura aparece desde los primeros años de vida y, para cuando se alcanza la adolescencia, el afectado suele quedar postrado en silla de ruedas y acaba muriendo prematuramente por una insuficiencia cardíaca o respiratoria. No tiene cura, pero una reparación genética ensayada en perros podría brindar nuevas esperanzas.

El trastorno tiene su origen en mutaciones que impiden que las células muscula-





LA TÉCNICA DE EDICIÓN GENÉTICA CRISPR se ha empleado para tratar perros que sufrían distrofia muscular de Duchenne. La estrategia podría aplicarse algún día a las personas afectadas por esta grave enfermedad.

MAGONE, GETTY IMAGES

res (miocitos) produzcan suficiente distrofina, una proteína que ayuda a los músculos a absorber las tensiones y los protege contra el deterioro que conlleva el tiempo. En un estudio novedoso se ha logrado aumentar las concentraciones de dicha proteína en la musculatura de cuatro perros aquejados de Duchenne mediante la técnica de edición genética denominada CRISPR-Cas9. El avance podría acelerar los ensayos clínicos para un tratamiento similar destinado a los seres humanos.

El equipo de investigación, coordinado por el Centro Médico del Suroeste de la Universidad de Texas, trabajó con perros jóvenes de la raza beagle criados para que sufrieran Duchenne. Sus miocitos se editaron para eliminar un obstáculo clave para la producción de la proteína, un corto segmento problemático de la secuencia de ADN presente tanto en el perro como en el hombre afectados por el mal. En un par de meses los canes sintetizaron más distrofina; su concentración en el músculo estriado alcanzó hasta el 90 por ciento del valor normal, según el tipo de músculo y la dosis administrada. (Algunos perros produjeron una cantidad sustancialmente menor.) Los valores en el músculo cardíaco, un objetivo crítico del tratamiento, remontaron hasta el 92 por ciento de lo normal. Los artífices, que publicaron sus hallazgos el pasado agosto en *Science*, aseguran no haber detectado ningún cambio indeseado en otras regiones del genoma —una preocupación habitual en la técnica de edición génica— ni indicios de que su aplicación resultara perjudicial para los animales.

Para hacer llegar la enzima a los músculos caninos, el autor Eric Olson, biólogo molecular en la Universidad de Texas del Suroeste, y sus colaboradores modificaron virus para que actuaran como vehículos, extrayendo parte de su propio ADN para dar cabida a la maquinaria de edición genética. A una parte de los virus se les incorporó la enzima Cas9, que actúa como una tijera molecular; con ella se cortó la secuencia de ADN que entorpece la producción de distrofina en los miocitos. A otra parte se les añadió una molécula guía para indicar a la Cas9 dónde cortar.

Antes, el equipo de Olson había demostrado que CRISPR podía servir para tratar la distrofia de Duchenne en roedores y en células humanas en el laboratorio. El nuevo trabajo supone el primer éxito en un mamífero grande. En este estudio, se centraron únicamente en cuantificar la restitución de los niveles de proteína, no en si la intervención había propiciado cambios a mejor en el comportamiento o en la vida cotidiana de los perros.

Se ignora cuánto tiempo podría funcionar la inyección con la maquinaria de edición CRISPR en los enfermos de Duchenne. Olson y su equipo esperan que sea lo bastante duradera, pero necesitan más resultados para tener una idea más clara. Si los pacientes precisaran la administración reiterada, tal vez no se podría usar el mismo virus, advierte Elizabeth McNally, genetista, cardióloga y directora del Centro de Medicina Genética de la Universidad del Noroeste. «El cuerpo puede generar anticuerpos neutralizantes, por lo que hay multitud de preguntas sobre el vector vírico», explica McNally, que no ha participado en el estudio pero es miembro del comité científico que asesora a la empresa fundada por Olson con la intención de comercializar la técnica contra la distrofia de Duchenne.

El único tratamiento aprobado hasta hoy en Estados Unidos contra la enfermedad, un fármaco inyectable fabricado por Sarepta Therapeutics que requiere administración continua, aumenta los niveles de distrofina menos de un 1 por ciento. Este, que aún no ha mostrado beneficio clínico, difiere del de Olson en que actúa sobre el ARN (la molécula a la que se transcribe el ADN), pero deja intacta la secuencia anómala de ADN.

Amy Wagers, investigadora de la enfermedad y profesora de biología de células madre y medicina regenerativa de la Universidad Harvard, ajena al desarrollo de ambas terapias, afirma que sería posible aplicar los dos enfoques al mismo tiempo para potenciar la distrofina. «Creo que es realmente interesante ver cómo este nuevo trabajo en ratones se traslada a un modelo con animales grandes». Pero los autores subrayan que se trata de un estudio preliminar, hecho con un pequeño número de animales y con un seguimiento corto en el tiempo».

Tanto la técnica aprobada de Sarepta como la experimental de Olson van dirigidas a una parte del colectivo de afectados por la distrofia de Duchenne: los portadores de una mutación concreta del gen de la distrofina, que solo constituyen el 13 por ciento del total, menos de mil personas en EE.UU. «Ahora tenemos que emprender los estudios de seguridad y eficacia a largo plazo en perros, por lo que pasarán unos años antes de que podamos iniciar los ensayos en personas, si todo sigue el curso previsto», concluye Olson.

—*Dina Fine Maron*



AMY ADAMS en la película *La llegada*.

ASTROBIOLOGÍA

Descifrar los sentidos alienígenas

Una lingüista pone de relieve lo limitadas que son nuestras ideas acerca de los extraterrestres



En *La llegada*, gran éxito de taquilla de 2016, unos extraterrestres movidos por razones inescrutables llegan a la Tierra, y es misión de una científica, encarnada por Amy Adams, entablar comunicación con ellos. Si esto ocurriese de verdad, tal vez la encargada sería Sheri Wells-Jensen. Esta lingüista de la Universidad Estatal de Bowling ha estudiado en profundidad lo distinta que podría ser la mente de los alienígenas.

Muchos investigadores suponen de manera automática que los extraterrestres poseerían sentidos similares a los que nosotros usamos cada día. Pero la experiencia sensorial de esta investigadora —es ciega— ofrece una perspectiva atípica a la hora de concebir situaciones alternativas y lo que supondrían para poder entendernos con los recién llegados.

Nuestra revista mantuvo una charla con ella acerca del lenguaje, los alienígenas tentaculados y las formas multidimensionales de ver el mundo.

—Adam Mann

¿Qué tienen que decir los lingüistas sobre la búsqueda de inteligencia extraterrestre?

Si esperamos dar con un lenguaje alienígena, hemos de comenzar a pensar en qué lenguaje puede ser, cómo lo reconoceremos y lo distinto que podría llegar a ser de lo que conocemos. Hemos de plantear un montón de hipótesis descabelladas y dar alas a nuestro pensamiento imaginativo.

¿Cómo está dando esas alas a su investigación?

En 2014 recibí una llamada del Instituto para la Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre (SETI) e intenté ponerme al corriente a toda prisa consultando la bibliografía. Y uno de los apriorismos con que me topé es que cualquier civilización sideral gozaría del sentido de la vista. Estoy intentando derribar esa premisa. Lo peligroso de las presuposiciones es que uno no es consciente de que las esté haciendo.

A mi entender, esto entronca con multitud de preguntas antropológicas sobre el trato que dispensamos a nuestros semejantes. Si como especie somos incapaces de zanjar diferencias mínimas como la raza o el sexo, ¿qué nos hace pensar que nos llevaríamos bien con alienígenas tentaculados? ¿Sabemos mantener un trato cordial y empático entre nosotros, algo bastante sencillo en comparación con decir: «Oh sí, vamos a dar la bienvenida a estos alienígenas tentaculados, con sus tripas al aire y ese modo de masticar con la boca abierta»?

¿Influye nuestro cuerpo en nuestra cognición?

Puedo darle un montón de ejemplos, como el verbo «ver», que también significa «entender» en algunas lenguas. O tenemos palabras para decir «izquierda» y «derecha», «adelante» y «atrás», las cuatro direcciones que son fruto de la simetría del cuerpo humano. Pero si tuviéramos tres manos, diríamos «izquierda», «derecha» y, eeeh..., ¿«la otra mano»?

Esta incógnita me fascina. La estructura de la lengua estadounidense de signos se ajusta en buena medida a las mismas normas del lenguaje oral, salvo porque es posible hacer más cosas a la vez. Pero no es alienígena. Es un lenguaje reconocible como humano que todos podemos aprender. Y los invidentes podemos aprender la lengua de las personas videntes que nos rodean. Una de las preguntas que me hago es: ¿cuán distinta ha de ser la anatomía de un ser para poder contrastar de veras esa hipótesis?

La anatomía extraterrestre podría ser muy distinta de la humana. Podrían usar un sónar y vivir en el agua, por ejemplo, o tener una tercera mano.

Exacto. Puedo imaginar derecha, izquierda y otra dirección, a la que podría llamar «biesa». Tardaría en asimilarla y emplearla con fluidez, pero creo que podría aprenderla. Pero ¿hasta dónde tendría uno que ir antes de que se hiciera incomprensible? Tal vez los lenguajes alienígenas sean cada vez más difíciles de entender conforme la morfología corporal se aleje de la nuestra. ¿O existe una barrera? ¿Serían siempre incompatibles ambas lenguas? Hemos de practicar pensando en esos ejemplos, incluso en los que no nos gustan.



ETOLOGÍA

Compañía indeseable

Las cucarachas hembra se congregan para evitar la presencia masculina

El ser humano no es la única especie que ha de lidiar con el acoso. Según un nuevo estudio, las hembras de cucaracha formarían corros para excluir a los pretendientes plomizos. Christina Stanley, profesora de etología en la Universidad de Chester, y sus colaboradores depositaron ejemplares de *Diploptera punctata* en recipientes especiales para observar su comportamiento social. Resulta que se congregan en grupos eminentemente femeninos donde no hay cabida para los machos. «Las hembras crean un entorno social más acogedor dejando fuera a los machos», explica Stanley, que encabezó el estudio, publicado el pasado julio en *Ethology*. En razón de su mayor tamaño, «son más dominantes, por lo que logran mantener a raya a sus compañeros», añade. Los investigadores también llevaron a cabo un experimento con una proporción mayor de machos que de hembras. En tal situación, fueron objeto de más abordajes y palpaciones con las antenas por parte de sus compañeros. Por eso se agrupan para frenar la intromisión masculina, afirma Stanley.

A Coby Schal, profesor de entomología de la Universidad de Carolina del Norte, ajeno a la investigación, no le convence que las hembras intenten eludir así a los machos. Afirma que la diferencia de talla basta para zanjar el asunto.

Pero el cambio de conducta observado en el experimento con el exceso de machos revela que hay algo más en juego, opina Stanley. La hembra almacena el esperma del primer apareamiento, por lo que cualquier otra cópula supondría para ella un derroche de energía y la expondría a posibles percances (algo nada raro en estos insectos). Aparte de ese fugaz primer encuentro, las hembras, por lo demás sociables, no parecen hallar gran cosa de su agrado en el sexo opuesto.

—*Joshua Rapp Learn*

PSICOLOGÍA SOCIAL

Liderazgo femenino

La brecha de género en la percepción del liderazgo se reduce cuando las personas pasan más tiempo juntas

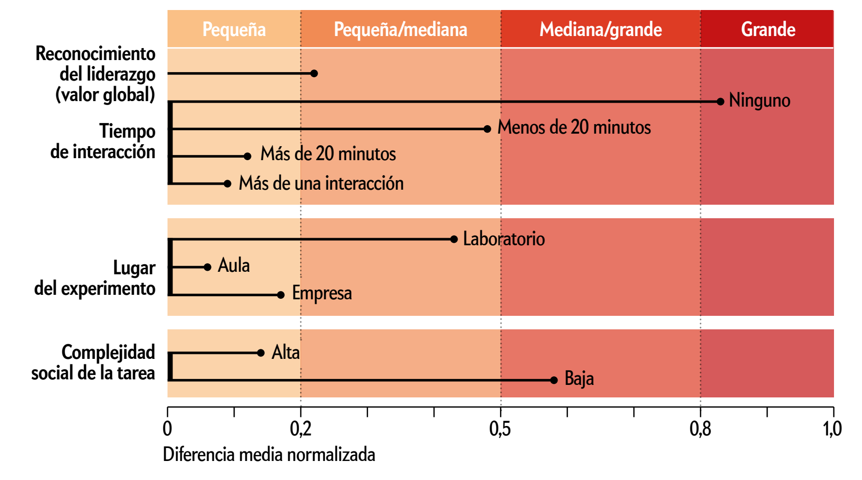
En EE.UU., solo el 28 por ciento de los directivos son mujeres. Para descubrir por qué, un estudio presentado en agosto en *Personnel Psychology* analizó más de cien artículos sobre liderazgo publicados entre 1957 y 2017. En esos estudios se pedía a grupos de estudiantes o de compañeros de trabajo que escogieran líderes o que se calificaran unos a otros para evaluar hasta qué punto actuaban como tales. Algunos artículos también midieron la participación en el grupo y rasgos de personalidad, como la seguridad en uno mismo. Como se esperaba, los hombres fueron percibidos como líderes con más frecuencia que las mujeres. Sin embargo, esa brecha variaba en función de la duración de la interacción y otros factores.

En general, los hombres eran más propensos a ser elegidos o calificados como líderes porque, en parte, mostraban mayor seguridad en sí mismos, por lo que acababan opinando más a menudo. Sin embargo, hombres y mujeres tenían la misma probabilidad de ser percibidos como líderes cuando los grupos interactuaban durante más de 20 minutos. Eso, escriben los investigadores, posiblemente se debiese a que, a medida que los miembros de un grupo se iban conociendo mejor, iban dejando de lado los estereotipos de género.

Otras investigaciones han señalado que hombres y mujeres tienen un desempeño igualmente bueno cuando ejercen como líderes. A la vista de la brecha de género existente en la parte alta de los organigramas, «hay un montón de capital humano que las organizaciones están desaprovechando», asegura Katie Badura, experta en gestión de las universidades de Búfalo y de Nueva York y autora principal del nuevo estudio. Badura sostiene que la forma de abordar esta situación no es pedir a las mujeres que modifiquen su comportamiento; antes bien, las organizaciones deberían formar a sus empleados para cambiar sus puntos de vista.

Alice Eagly, psicóloga que actualmente trabaja en la Universidad del Noroeste y que hace 27 años llevó a cabo un análisis similar, elogió la gran escala del proyecto. Eagly aboga por el empoderamiento de las mujeres, pero tiene también un consejo para los hombres: «No seáis tan dominantes; dejad a otros la oportunidad de hablar».

—*Matthew Hutson*



LAS PERSONAS tienden a asignar una menor capacidad de liderazgo a las mujeres que a los hombres. Ahora, un estudio ha hallado que esa brecha se reduce cuando un grupo interactúa durante largos períodos de tiempo. Los investigadores también analizaron otras variables, como el lugar en el que se efectuó el estudio o la complejidad social de las tareas. Aunque en un principio la brecha de género resultó ser mayor en los estudios de laboratorio que en aquellos realizados en entornos de trabajo reales, esa situación se invirtió al considerar el tiempo que los participantes interactuaban entre sí. Ello indicaría que, aunque el tiempo de interacción sea importante, los entornos empresariales podrían presentar factores adicionales que perpetúan la brecha. Los grupos dedicados a actividades complejas, como la resolución innovadora de problemas, mostraron una brecha de género relativamente pequeña, si bien ese efecto desapareció al tener en cuenta otros factores.



METROLOGÍA

El futuro del kilogramo

Este mes se vota en Versalles un proyecto para rediseñar el Sistema Internacional de Unidades

El kilogramo está perdiendo peso. El objeto que define de manera oficial la unidad de masa es un pequeño cilindro de platino e iridio de 139 años de antigüedad y que se encuentra encerrado bajo tres llaves en una cámara subterránea cerca de París. Dada su importancia, los científicos casi nunca lo sacan. Sin embargo, la última vez que lo hicieron para compararlo con algunas de sus copias oficiales, comprobaron que era unas cinco partes por cien millones más ligero que ellas. Esta es una de las razones por las que, dentro de poco, el kilogramo podría dejar de estar definido por un objeto físico y pasar a depender de las constantes fundamentales de la naturaleza [*véase* «El nuevo kilogramo», por Tim Folger; Investigación y Ciencia, abril de 2017].



EL KILOGRAMO n.º 20, en EE.UU., es uno de los prototipos nacionales del patrón original.

«Esto [la pérdida de masa] es el tipo de cosas que suceden cuando tu patrón se basa en un objeto que necesita ser conservado», indica Peter Mohr, físico del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de EE.UU. y miembro del comité que supervisa el Sistema Internacional de Unidades (SI). «Las constantes fundamentales, por el contrario, no van a cambiar con el tiempo.»

La redefinición del kilogramo formará parte de una revisión más general concebida para que las unidades del SI dependan exclusivamente de las constantes de la naturaleza. Los representantes de 57 países votarán sobre el cambio propuesto en una conferencia que se celebrará este mes en Versalles, donde se espera que se aprueben las nuevas reglas. Además del kilogramo, el amperio (la unidad de corriente eléctrica), el kelvin (temperatura) y el mol (cantidad de sustancia) estrenarán definiciones basadas respectivamente en la constante de Planck, la carga eléctrica elemental, la constante de Boltzmann y el número de Avogadro. En la actualidad, estas constantes se determinan mediante mediciones de laboratorio, por lo que presentan incertidumbres. Pero, si la votación tiene éxito, los países que utilizan el SI acordarán un valor fijo para cada constante a partir de los mejores datos disponibles y usarán dichos valores para derivar las unidades.

¿Qué pasará con el viejo patrón del kilogramo y sus copias? En lugar de enviarlos a los museos, los científicos planean seguir estudiando cómo les afecta el paso del tiempo. «Encierran tanta historia de las mediciones que sería irresponsable no seguir midiéndolos», concluye Stephan Schlamminger, del NIST.

—Clara Moskowitz

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Aprendizaje sin fin

Un nuevo diseño consigue que las máquinas inteligentes no cesen de adaptarse

¿Se imagina que tras acabar sus estudios ya no hubiera aprendido usted nada más? Suena absurdo, pero así es como se entrenan la mayoría de sistemas de aprendizaje automático: consiguen dominar una tarea y cesan de mejorar. Ahora, varios científicos han comenzado a desarrollar máquinas inteligentes que aprenden y se adaptan sin cesar, al igual que el cerebro humano.

Los sistemas de aprendizaje automático suelen estar basados en redes neuronales: un gran conjunto de elementos básicos, o «neuronas», que se comunican entre sí por medio de conexiones de diferentes intensidades, o «pesos». Pensemos en una diseñada para reconocer imágenes. Si se equivoca al clasificarlas durante el entrenamiento, los pesos se ajustarán hasta que los errores queden por debajo de cierto umbral. En ese momento, quedarán fijados.

La nueva técnica divide cada peso en dos valores. El primero se entrena y se fija como en los sistemas tradicionales, pero el segundo se ajusta continuamente en respuesta a la actividad de la red. La clave reside en que el sistema también aprende cuán ajustables deben hacerse estos pesos. De esta manera, la red neuronal aprende pautas de comportamiento y también cuánto debe modificar cada parte de dicho comportamiento en respuesta a nuevas circunstancias. Los investigadores presentaron su técnica el pasado mes de julio en una conferencia en Estocolmo.

El equipo creó una red que aprendió a reconstruir fotografías medio borradas después de ver las imágenes completas tan solo unas pocas veces. Una red neuronal tradicional habría necesitado ver muchas más imágenes. Los investigadores también crearon una red que aprendió a identificar letras manuscritas tras ver un solo ejemplo.

En otra tarea, la red debía controlar a un personaje que tenía que encontrar objetos en un laberinto. Tras un millón de pruebas, la nueva red con pesos semiajustables aprendió a hallar los objetos tres veces más a menudo que una red tradicional. Aparentemente, las partes estáticas de los pesos infirieron la estructura del laberinto, mientras que las dinámicas aprendieron a adaptarse a nuevas ubicaciones de los objetos. «Es realmente potente», asegura Nikhil Mishra, investigador de la Universidad de California en Berkeley que no participó en la investigación. «Estos algoritmos pueden adaptarse con mayor rapidez a nuevas tareas y situaciones, exactamente como haríamos los seres humanos.»

Thomas Miconi, científico computacional de Uber y autor principal del estudio, señala que ahora su equipo planea abordar tareas más complejas, como el control de robots y el reconocimiento de voz. En un trabajo relacionado, Miconi quiere simular la «neuromodulación», un ajuste instantáneo de la adaptabilidad de toda la red que, en su análogo humano, nos permite absorber información cuando ocurre algo nuevo o importante.

—Matthew Hutson

SCIENCE SOURCE (*kilogramo*); THOMAS FUCHS (*cerebro*)



LOS GUEPARDOS CAUTIVOS pueden ser muy exigentes a la hora de elegir pareja.

CONSERVACIÓN

Un Tinder para guepardos

El olor de la orina podría ayudar a que estos grandes felinos encuentren pareja cuando están en cautividad

Los zoológicos que pretenden criar guepardos tienen grandes problemas para emparejarlos. Ahora, los investigadores podrían haber encontrado una solución poco convencional: dejar que las felinas solteras elijan pareja dejándose guiar por el olor de la orina.

Una nueva investigación demuestra que las hembras de guepardo pueden detectar la proximidad genética con un posible compañero con solo oler su orina, y prefieren la de aquellos con los que tienen una relación más lejana. El hallazgo podría servir para mejorar los programas de cría en cautividad y ayudar a la conservación de estos veloces felinos.

«La orina transporta tanta información que es lógico que sea un canal que les ayude a decidir quién sería un buen compañero», aduce Regina Mossotti, directora de conservación y cuidado de animales en el Centro para Lobos en Peligro de Eureka, en el estado de Misuri, y autora principal del estudio con guepardos, publicado en julio en *Zoo Biology*.

Mossotti explica que los zoológicos que pretenden criar guepardos suelen tratar de aparearlos con animales de otros centros. Lo hacen para evitar la endogamia, que puede producir una descendencia menos sana. Los zoos utilizan un sistema de emparejamiento basado principalmente en la semejanza genética, pero sus cálculos no siempre sirven para que el apareamiento tenga éxito.

En su hábitat natural, las hembras de guepardo deambulan por todas partes y aparentemente examinan a sus posibles parejas olfateando las marcas de olor que dejan en su territorio. Por tanto, los investigadores querían poner a prueba la idea de usar la orina para «presentar» a posibles parejas en cautividad. Mossotti y su equipo recorrieron Estados Unidos recogiendo botellas de orina de guepardo en diferentes zoológicos. Luego, ofrecieron a 12 hembras las muestras de 17 machos «donantes de orina» con los que tenían distinta relación genética, y evaluaron la respuesta de los grandes felinos. Descubrieron que las hembras siempre pasaban más tiempo cerca de la orina de los machos menos relacionados con ellas.

Paul Funston, director sénior de programas de Panthera (una organización global para la conservación de los felinos salvajes), que no participó en la investigación, opina que esta es interesante y que tiene un buen diseño experimental. Sin embargo, cuestiona la utilidad de los programas de cría en zoológicos para estos animales. «No hay demasiadas pruebas de que sea posible reintroducir en su hábitat natural a guepardos que están en cautividad», dice, aunque reconoce que la cría en cautividad de algunas subespecies en grave peligro de extinción podría estar más justificada.

La siguiente fase de la investigación consistiría en comprobar si esta «prueba de orina» se traduce en un mayor éxito en el apareamiento. Aunque conseguirlo no será sencillo, Mossotti afirma que su equipo ya está cambiando la manera de pensar de los zoológicos con respecto a cómo gestionar sus poblaciones cautivas.

—Joshua Rapp Learn

SANDY HUFFAKER/GETTY IMAGES (*guepardo*); HUMANBODIES.EU (*exposición*)

AGENDA

CONFERENCIAS

12 de noviembre
Superconductividad: Vector de avances tecnológicos para la ciencia del futuro
Lucio Rossi, CERN
Fundación BBVA
Madrid
www.fbbva.es

20 y 22 de noviembre
Cambio climático y transición energética
Cayetano López, Universidad Autónoma de Madrid
Fundación March
Madrid
www.march.es

29 de noviembre
CSI Nefertiti: La sinergia entre astronomía, arqueología y genética en el Egipto antiguo
Juan Antonio Belmonte, Instituto de Astrofísica de Canarias
Planetario de Madrid
Madrid
planetmad.es

EXPOSICIONES

Human bodies: Anatomía de la vida
Centro comercial Arenas
Barcelona
humanbodies.eu



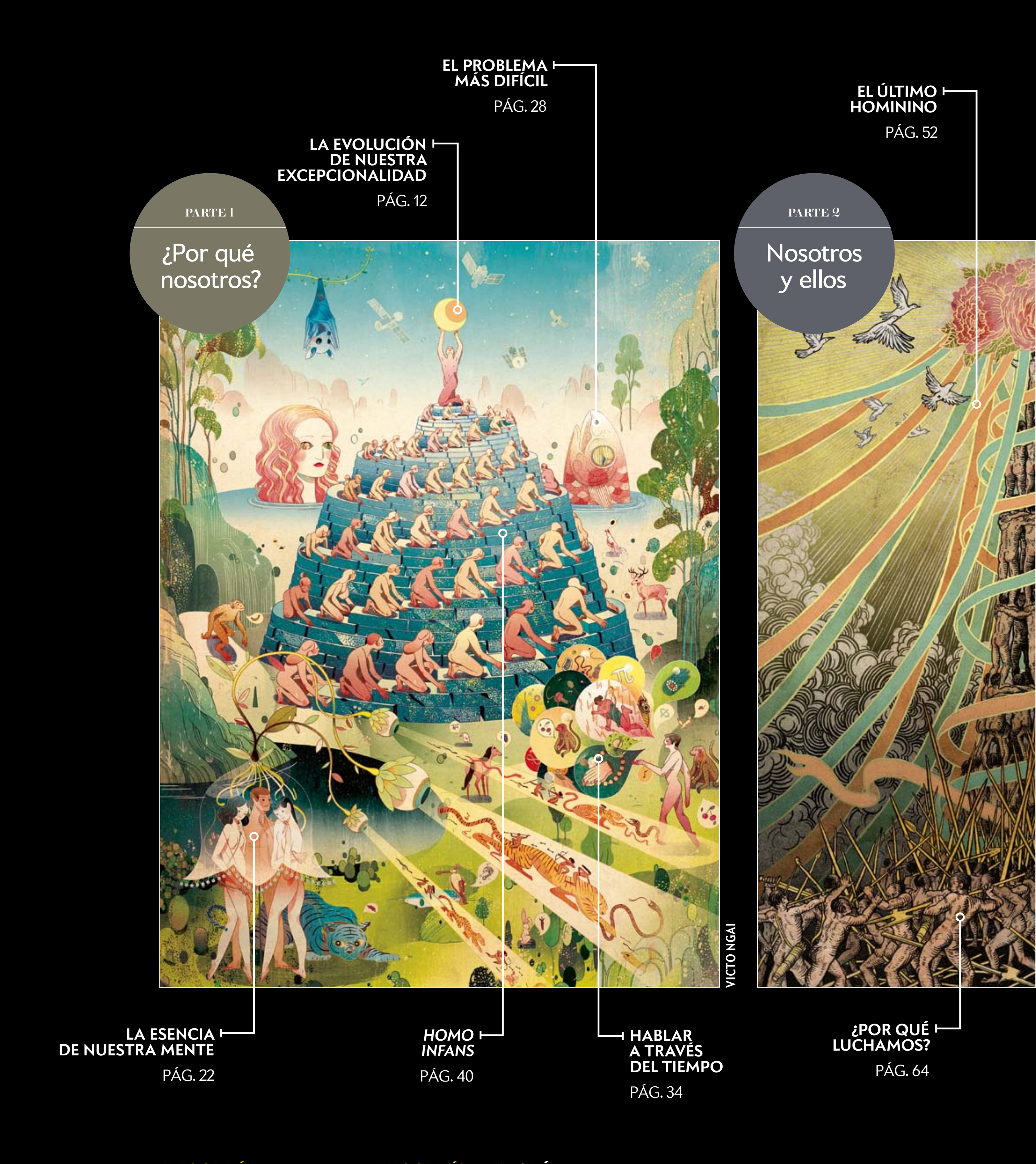
PLAY: Ciencia y música
Parque de las Ciencias
Granada
www.parqueciencias.com

OTROS

18 de noviembre — Coloquio
***Fake news* y tecnología: ¿Las máquinas dirigen tus opiniones?**
Organiza: Agencia SINC
MUNCYT Alcobendas
Retransmisión en directo por Facebook Live
www.agenciasinc.es/agenda

Hasta el 24 de noviembre — Jornadas
European Space Talks
Encuentros divulgativos con profesionales del espacio en todos los Estados miembros de la Agencia Espacial Europea
spacetalks.net

EL SER HUMANO:



UNA ESPECIE SINGULAR

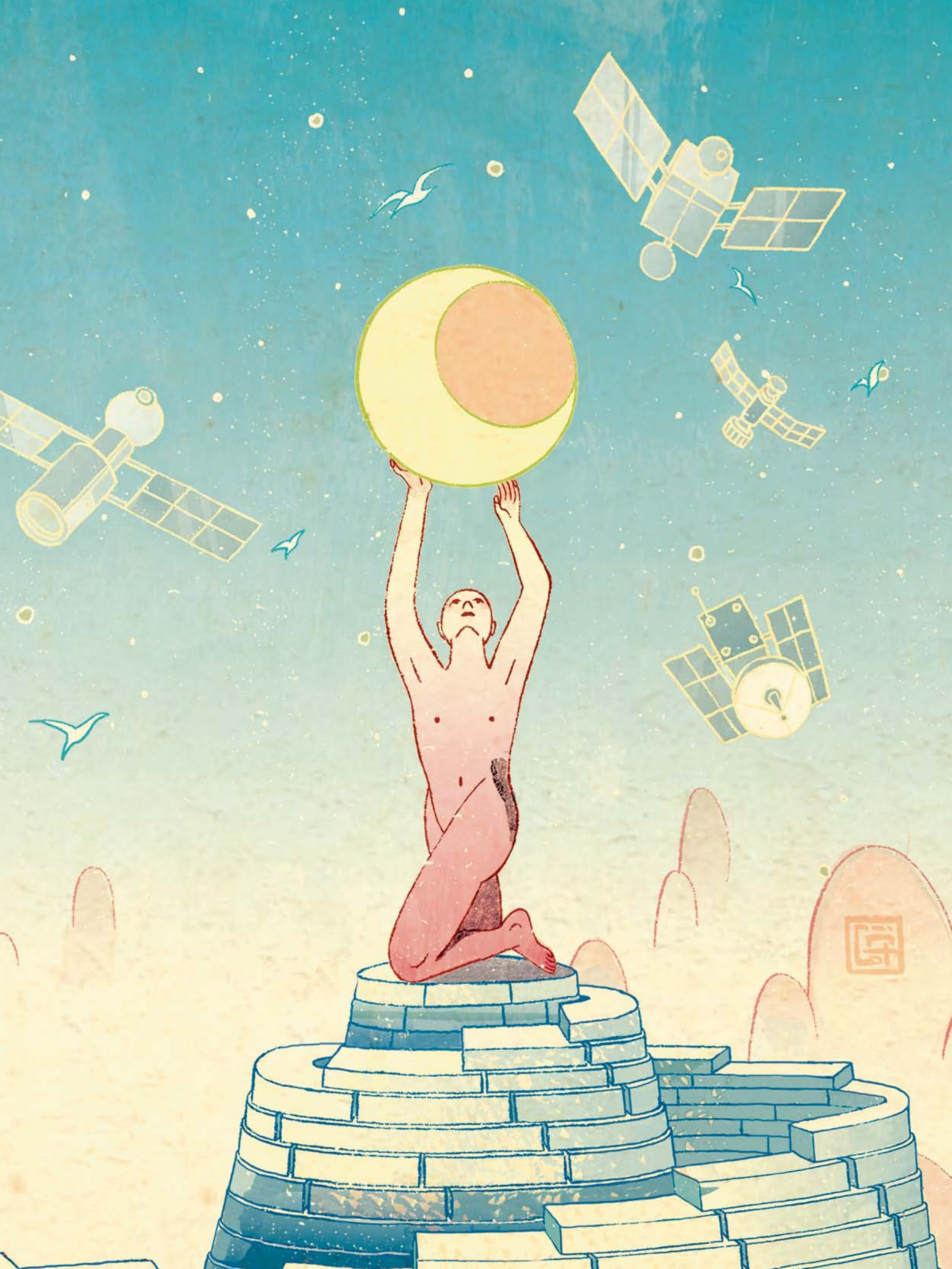
PARTE 3

Más allá de nosotros



YUKO SHIMIZU

ARMANDO VEVE



PARTE I

¿Por qué nosotros?

ASÍ NOS CONVERTIMOS EN UN ANIMAL DIFERENTE

LA EVOLUCIÓN DE NUESTRA EXCEPCIONALIDAD

KEVIN LALAND :: *ILUSTRACIÓN DE VICTO NGAI*

LA MAYORÍA DE LAS PERSONAS DE ESTE PLANETA DAN POR SENTADO, POR lo general sin ningún fundamento científico, que los humanos somos criaturas especiales, muy diferentes del resto de los animales. En cambio, los científicos más capacitados para evaluar esa percepción suelen mostrarse reticentes a reconocer la singularidad de *Homo sapiens*, quizá por temor a reforzar la idea de excepcionalidad humana que postulan las religiones. Y, sin embargo, hoy contamos con una ingente cantidad de datos, procedentes de disciplinas que van desde la ecología hasta la psicología cognitiva, que vienen a confirmar que, en efecto, somos una especie extraordinaria.

EN SÍNTESIS

La hipótesis del «impulso cultural» postula que los logros de nuestra especie derivan de la capacidad de copiar y aprender comportamientos de otros individuos.

No obstante, otras especies animales también innovan: los chimpancés cascan nueces con piedras y los delfines usan esponjas de mar para obligar a sus presas a salir del escondite.

Cada vez más indicios sugieren que nuestra singularidad obedece a la capacidad para imitar comportamientos con gran precisión. Ello habría iniciado un proceso de coevolución genético-cultural inexistente en otros animales.

La densidad de las poblaciones humanas supera con creces la que correspondería a un animal de nuestro tamaño. Ocupamos un ámbito geográfico inmenso y ejercemos un control sin precedentes sobre los flujos de materia y energía del planeta, con un impacto global incuestionable. Si, además, tomamos en consideración nuestra inteligencia y nuestra capacidad para comunicarnos, adquirir y compartir conocimientos (junto con nuestras magníficas obras de arte o arquitectónicas), no podemos sino concluir que el ser humano es un animal muy diferente de cualquier otro. Nuestra cultura parece distinguirnos del resto de la naturaleza. Y, aun así, esa cultura ha de ser a la vez un producto de la evolución.

El reto de proporcionar una explicación científica a la evolución de las facultades cognitivas de nuestra especie y su expresión cultural es lo que he llamado «la sinfonía inacabada de Darwin». Charles Darwin empezó a investigar la cuestión hace unos 150 años. Pero, como él mismo confesaría, sus conocimientos sobre la evolución de tales atributos eran «imperfectos y fragmentarios». Por fortuna, otros científicos han tomado el testigo, y hoy existe la sensación creciente de que nos estamos acercando a una respuesta.

El consenso emergente sostiene que los logros de la humanidad derivan de nuestra capacidad para asimilar los conocimientos y destrezas de otros. De esta manera, los individuos van ampliando de forma iterativa el acervo de conocimientos acumulados durante largos períodos de tiempo. Este repositorio colectivo de experiencias nos permite hallar soluciones cada vez más eficientes y variadas a los problemas de la vida. No fue nuestro gran cerebro, nuestra inteligencia ni el lenguaje lo que nos dio la cultura, sino más bien esta última la que impulsó un cerebro voluminoso, una inteligencia sin igual y el lenguaje. En lo que respecta a nuestra especie —y tal vez a alguna otra—, la cultura transformó el proceso evolutivo.

El término *cultura* incluye también la moda o la alta cocina. Pero, si nos restringimos a su significado puramente científico, la cultura consiste en la serie de comportamientos que comparten los miembros de una comunidad y que se basan en información transmitida socialmente. Pensemos en los diseños de automóviles, los estilos de música, las teorías científicas o la recolección de alimentos de las sociedades pequeñas. Todo ello evoluciona por medio de una sucesión interminable de innovaciones que van añadiendo mejoras graduales a una base de conocimiento inicial: un perpetuo e implacable copiar e innovar. En ello radica el éxito de nuestra especie.

TALENTO ANIMAL

Comparar a los humanos con otros animales permite determinar en qué destacamos, qué cualidades compartimos con otras especies y cuándo evolucionaron ciertos rasgos. Así pues, un primer paso para entender cómo llegamos a ser tan diferentes consiste en adoptar esta perspectiva comparativa y analizar el aprendizaje social y la innovación en otras criaturas.

Son numerosos los animales que copian el comportamiento de otros y que, de ese modo, aprenden técnicas para alimentarse, comunicarse o evitar depredadores. Un ejemplo célebre nos lo proporcionan las distintas tradiciones en el uso de herramientas que muestran las poblaciones de chimpancés de África. En cada comunidad, los jóvenes aprenden el comportamiento local (ya sea cascar nueces con martillos de piedra o «pescar» hormigas con un palo) copiando a los individuos más experimentados. Pero el aprendizaje social no se reduce a los primates, a los animales con un cerebro voluminoso o ni siquiera a los vertebrados. Miles de estudios experimentales



SEGUIR LOS PASOS DE OTROS ha sido clave para el éxito de *Homo sapiens*. En la foto, un grupo de bosquimanos recorre en fila las dunas de Namibia.

KERSTIN GEIER, GETTY IMAGES

han demostrado que cientos de especies de mamíferos, aves, peces e insectos copian comportamientos. Incluso las moscas de la fruta jóvenes seleccionan para aparearse a aquellos machos que han elegido las hembras mayores.

El abanico de comportamientos que pueden adquirirse socialmente es muy amplio. Los delfines han desarrollado tradiciones de búsqueda de alimento en las que utilizan esponjas marinas para hacer salir a los peces escondidos en el fondo del mar. Para cazar a las focas que descansan sobre el hielo, las orcas se unen y provocan olas gigantes que tiran a las focas al agua. Incluso los pollos adquieren tendencias caníbales de otros congéneres por medio del aprendizaje social. Y aunque la mayoría de los conocimientos transmitidos en las poblaciones animales atañe a la comida (qué comer y cómo encontrarlo), existen también convenciones sociales extraordinarias. Una manada de monos capuchinos de Costa Rica ha concebido el curioso hábito de insertar los dedos en la cavidad ocular o en las fosas nasales de otros individuos, o introducirles las manos en la boca y, sentados juntos, mecerse suavemente durante largo rato. Una convención que, según se cree, serviría para comprobar la fortaleza de los lazos sociales.

Los animales también innovan. Cuando se nos pide que citemos una invención, tal vez pensemos en la penicilina o en Internet, pero los equivalentes animales no resultan menos fascinantes. Mi favorito es el de un joven chimpancé llamado Mike, al que la primatóloga Jane Goodall observó ideando una demostración de fuerza que consistía en golpear dos latas vacías de queroseno entre sí. Aquella exhibición intimidaba a sus rivales, lo que le llevó a escalar puestos en la jerarquía social hasta convertirse en un macho alfa en tiempo récord. Otro invento es el de las cornejas negras japonesas, que utilizan coches para cascar nueces. Las cáscaras de este fruto son demasiado duras para sus picos. Con todo, estas aves se alimentan de ellas colocándolas en la carretera para que los automóviles las partan al pasar; después, regresan a por su manjar cuando el semáforo cambia a rojo. Y en Fredericksburg, Virginia, un grupo de estorninos (pájaros conocidos por su afición a juntar objetos brillantes para decorar sus nidos) aprendió a saquear una máquina de monedas de un lavado de coches, tras lo cual acumularon literalmente cientos de dólares en monedas de 25 centavos.

Tales ejemplos son algo más que retazos llamativos de historia natural. Los análisis comparativos revelan algunas pautas asombrosas en la innovación y el aprendizaje social del que hacen gala los animales. La más relevante de ellas es que las especies que innovan, así como aquellas que más dependen de copiar comportamientos, poseen un cerebro inusualmente voluminoso, tanto en términos absolutos como en relación a su tamaño corporal. En un principio, esta correlación entre las tasas de innovación y el tamaño cerebral se observó en las aves, pero desde entonces se ha constatado también en los primates. Tales hallazgos apoyan la hipótesis del «impulso cultural», planteada en los años ochenta por el bioquímico Allan C. Wilson, de la Universidad de California en Berkeley.

Wilson defendía que la capacidad para resolver problemas o para copiar las innovaciones de otros otorgaría a los individuos una ventaja en la lucha por la supervivencia. Suponiendo que tal facultad tuviera una base neurobiológica, daría lugar a un proceso de



Kevin Laland es profesor de biología conductual y evolutiva en la Universidad de St. Andrews, en Escocia, y autor de *Darwin's unfinished symphony: How culture made the human mind* (Princeton University Press, 2017).

selección natural que favorecería la aparición de un cerebro cada vez mayor: un proceso imparable que habría culminado con el enrome órgano que orquesta la ilimitada creatividad y la cultura universal del ser humano.

En un principio los expertos se mostraron escépticos ante el argumento de Wilson. Si las moscas de la fruta, con su minúsculo cerebro, ya son capaces de copiar a la perfección, ¿por qué la selección natural de ese rasgo debería conducir al gigantesco encéfalo de los primates? Este enigma perduró durante años, hasta que un día la respuesta llegó de una fuente inesperada.

LAS BONDADES DE LA IMITACIÓN

Con el objetivo de averiguar la mejor manera de aprender en un entorno cambiante y complejo, hace unos años nuestro grupo de investigación organizó un torneo de estrategias de aprendizaje social. Concebimos un mundo hipotético en el que los individuos, o «agentes», podían elegir entre un gran número de comportamientos. Cada uno de ellos tenía su propia recompensa, la cual cambiaba con el tiempo. El reto consistía en determinar qué acciones procuraban el máximo beneficio y evaluar cómo evolucionaba este. Los agentes podían aprender un comportamiento nuevo o repetir uno ya adquirido con anterioridad; por su parte, el aprendizaje podía llegar por ensayo y error o copiando a otros individuos.

El cerebro es un órgano energéticamente costoso. El aprendizaje social fue clave a la hora de acceder a los recursos necesarios para desarrollar un encéfalo voluminoso

En lugar de intentar resolver el problema nosotros mismos, invitamos a solucionarlo a todo aquel que estuviese interesado. Todas las propuestas debían ser enviadas en forma de programa informático que determinase cómo tenían que comportarse los agentes. Después, esos programas competirían entre sí en una simulación por ordenador y el mejor se llevaría un premio de 10.000 euros. Los resultados fueron muy instructivos: descubrimos una fuerte correlación entre las bondades de una estrategia dada y el grado de aprendizaje social que dicha estrategia requería por parte de los agentes. La estrategia ganadora no exigía que los agentes aprendieran a menudo; pero, cuando lo hacían, casi siempre era copiando a otros de manera precisa y eficaz.

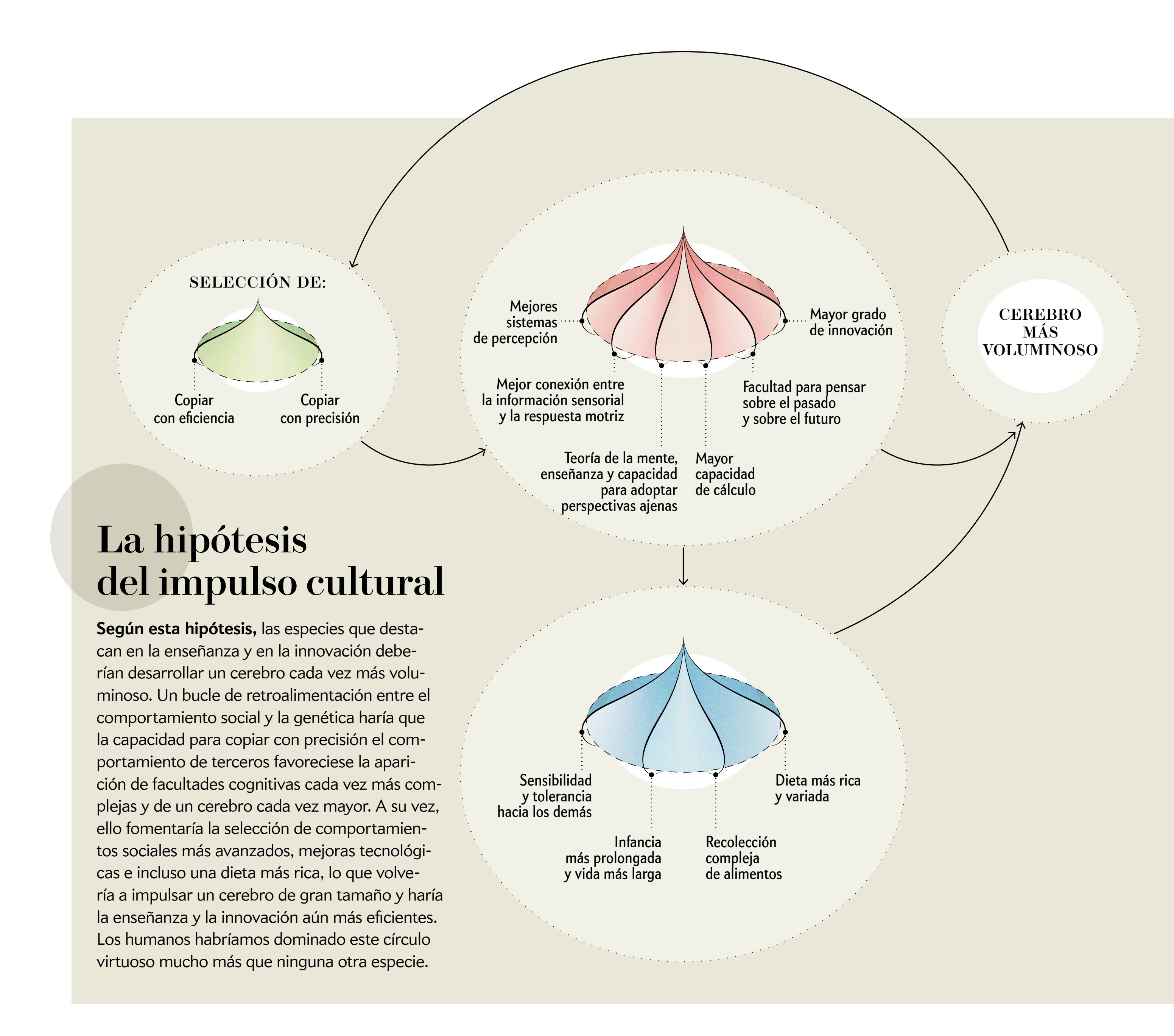
El torneo nos mostró cómo interpretar la correlación positiva entre el aprendizaje social y el tamaño cerebral observada en los primates. Los resultados sugerían que la selección natural no favorece un aprendizaje social cada vez mayor, pero sí una tendencia a hacerlo cada vez mejor. Y aunque un animal no necesita un cerebro voluminoso para copiar, este sí hace falta para copiar bien.

Aquel resultado estimuló la investigación sobre las bases empíricas de la hipótesis del impulso cultural. De ser cierta, la selección natural habría favorecido aquellas estructuras anatómicas y aquellas facultades funcionales del cerebro de los primates que propiciasen copiar con precisión y eficacia. Por ejemplo, habría fomentado una buena percepción visual si esta permitía copiar desde más lejos o imitar acciones motrices finas, así como una mayor conexión entre las estructuras perceptoras y motoras del cerebro. De esta manera, cuando un individuo viese a otro llevar a cabo una actividad determinada, podría interpretar mejor lo que ve y conseguir un resultado similar moviéndose de la manera correspondiente.

La misma hipótesis también predecía que dicho fomento del aprendizaje social habría influido en otros aspectos, como la tendencia a vivir en grupos y a usar herramientas. Eso se explica porque, cuanto mayor sea nuestro grupo y más tiempo pasemos en compañía de otros, más oportunidades tendremos de lograr un aprendizaje social eficiente. Al copiar, los simios adquieren diversas técnicas para alimentarse, desde extraer larvas de la corteza de los árboles hasta usar palos para atrapar termitas. Si el aprendizaje social es lo que permite a los primates adquirir métodos —difíciles de aprender pero productivos— para conseguir comida, toda especie con capacidad para el aprendizaje social debería mostrar altos niveles de recolección extractiva y de uso de herramientas. Tendrían también que disfrutar de una dieta más rica y de una vida más larga, pues ello les daría más tiempo para aprender nuevas técnicas y transmitirlas a la descendencia. En suma, la hipótesis del impulso cultural predice que la tasa de aprendizaje social se correlacionará no solo con el tamaño del cerebro, sino con toda una serie de indicadores relacionados con el rendimiento cognitivo.

Rigurosos análisis comparativos han confirmado estas predicciones. Las especies de primates que destacan en aprendizaje social e innovación son las mismas que cuentan con dietas más diversas y que muestran una recolección extractiva de alimentos, usan herramientas y presentan un comportamiento social más complejo. De hecho, el análisis estadístico sugiere que tales facultades varían de forma tan correlacionada que es posible ordenar a los primates en una única dimensión de rendimiento cognitivo general, o «inteligencia de primate» (algo similar al cociente intelectual en humanos). Mientras que los chimpancés y los orangutanes destacan en todos estos indicadores y tienen una inteligencia de primate alta, algunos prosimios nocturnos presentan un rendimiento bajo en la mayoría de ellos y muestran una inteligencia menor.

La fuerte correlación entre la inteligencia de primate, por un lado, y el tamaño cerebral y el resultado de las pruebas de laboratorio en aprendizaje y cog-



La hipótesis del impulso cultural

Según esta hipótesis, las especies que destacan en la enseñanza y en la innovación deberían desarrollar un cerebro cada vez más voluminoso. Un bucle de retroalimentación entre el comportamiento social y la genética haría que la capacidad para copiar con precisión el comportamiento de terceros favoreciese la aparición de facultades cognitivas cada vez más complejas y de un cerebro cada vez mayor. A su vez, ello fomentaría la selección de comportamientos sociales más avanzados, mejoras tecnológicas e incluso una dieta más rica, lo que volvería a impulsar un cerebro de gran tamaño y haría la enseñanza y la innovación aún más eficientes. Los humanos habríamos dominado este círculo virtuoso mucho más que ninguna otra especie.

FEDERICA FRAGAPANE

nición, por otro, validan el uso de esta escala como medida de inteligencia. Esta interpretación también encaja con los estudios neurocientíficos que muestran que el tamaño de las distintas regiones encefálicas por separado puede predecirse con precisión una vez que se conoce el volumen total del cerebro. Asociadas a la evolución de un gran cerebro se encuentran dos regiones grandes y bien conectadas: la neocorteza y el cerebelo, las cuales permiten el control ejecutivo de las acciones y facilitan movimientos controlados y precisos. Ello nos ayuda a entender por qué los animales con un cerebro más voluminoso hacen gala de una cognición compleja y usan herramientas.

Si representamos estas medidas de inteligencia sobre el árbol genealógico de los primates, vemos que la evolución de una inteligencia superior se desarrolló de forma independiente en cuatro grupos: capuchinos, macacos, babuinos y grandes simios; especies bien conocidas por su capacidad de aprendizaje social y sus tradiciones. Este hallazgo es justamente lo que esperaríamos si los procesos culturales impulsaran la evolución del cerebro y la cognición. Otros análisis, con mejores datos y métodos estadísticos avanzados, han apoyado esta conclusión, al igual que los modelos que predicen el tamaño cerebral y corporal a partir de estimaciones de los costes metabólicos del encéfalo.

El impulso cultural no es el único responsable de la evolución del cerebro de los primates: también son importantes la dieta y la sociabilidad, ya que los simios que comen fruta y viven en grandes grupos poseen asimismo un cerebro voluminoso. Sin embargo, resulta difícil soslayar la conclusión de que la inteligencia superior y la longevidad coevolucionaron en algunos primates porque sus capacidades culturales les permitían explotar recursos alimenticios de difícil acceso pero de gran calidad, cuyos nutrientes sirvieron a su vez para «costear» el crecimiento cerebral. El encéfalo consume grandes cantidades de energía, y el aprendizaje social habría sido clave a la hora de

conseguir los recursos necesarios para desarrollar y mantener un cerebro voluminoso.

LOS CHIMPANCÉS NO INVENTAN MÓVILES

¿Por qué, entonces, los demás primates no poseen una cultura compleja como la nuestra? ¿Por qué los chimpancés no han secuenciado genomas ni construido cohetes espaciales? Las matemáticas parecen darnos la respuesta. El secreto radica en la fidelidad con que la información se transmite de un miembro a otro: la precisión del proceso de aprendizaje entre el emisor y el receptor. La magnitud del repertorio cultural de una especie y el tiempo que los rasgos culturales permanecen en una población aumentan de manera exponencial con la fidelidad de la transmisión. Por encima de cierto umbral, la complejidad y la diversidad de la cultura comienzan a aumentar de manera irreversible. Sin una transmisión precisa, es imposible acumular cultura. Pero, una vez que se supera dicho umbral, incluso dosis modestas de nuevas invenciones y refinamientos conducen con rapidez a un cambio cultural formidable. Y los humanos somos la única especie viva que ha traspasado dicho umbral.

CHIMPANCÉS Y HUMANOS innovan y usan herramientas. Los primeros usan palos para atrapar termitas y enseñan la técnica a sus parientes (*arriba*). Sin embargo, la elevada precisión con que los humanos somos capaces de transmitir nuestros conocimientos ha espoleado la emergencia de técnicas mucho más complejas, como las que se requieren para construir un telescopio (*abajo*).





STEVE BLOOM, ALAMY (*chimpancés*); CHRIS GUNN, NASA (*espejo de telescopio*)

Nuestros antepasados lograron esa transmisión de alta fidelidad a través de la enseñanza, un método que facilita el aprendizaje. Aunque copiar constituye un comportamiento generalizado en la naturaleza, la enseñanza es escasa. Y, sin embargo, es universal en las sociedades humanas, una vez que reconocemos las muchas y sutiles formas que adopta esta práctica. Los análisis matemáticos revelan que las condiciones que deben cumplirse para que la enseñanza evolucione son difíciles; sin embargo, también muestran que una cultura acumulativa relaja esas condiciones. Los modelos indican que la enseñanza y la cultura acumulativa coevolucionaron en nuestros antepasados hasta que apareció, por primera vez en la historia de la vida de nuestro planeta, una especie cuyos miembros enseñaban a sus parientes un amplio abanico de destrezas, tal vez consolidadas a través de ejercicios orientados de forma «deliberada» a fines concretos.

La enseñanza del conocimiento cultural por parte de los homininos incluía la recolección y el procesamiento de alimentos, señales de llamada aprendidas, la fabricación de herramientas, etcétera. Ello proporcionó el contexto en el que el lenguaje emergió por primera vez. La razón por la que el lenguaje solo evolucionó en nuestros antepasados es una de las grandes cuestiones sin resolver. Una posibilidad es que se desarrollara para reducir los costes, aumentar la precisión y ampliar los ámbitos de enseñanza. El lenguaje humano quizá sea único, al menos entre las especies actuales, porque solo los humanos construyeron un mundo cultural lo suficientemente diverso y dinámico como para exigir que se hablase de él. Este argumento tiene la ventaja de que explica muchas de las características del lenguaje, incluido su poder de generalización y el hecho de que se transmita a través del aprendizaje.

El lenguaje comenzó como un conjunto de símbolos compartidos. Pero, una vez que surgió, impulsó un mecanismo de selección en el cerebro de los hominинos hacia una mayor capacidad de aprendizaje del lenguaje, así como otro en los propios idiomas que favoreciese estructuras fáciles de aprender. Hoy contamos con pruebas de que las actividades culturales impusieron procesos de selección tanto en el cuerpo como en la mente de nuestros antepasados: un proceso conocido como coevolución genético-cultural. Los análisis teóricos, antropológicos y genómicos demuestran que el conocimiento transmitido socialmente, incluido el expresado en la fabricación y el uso de herramientas, generó una selección natural que transformó la anatomía y la cognición humanas. Esta retroalimentación perfiló la emergencia de la mente humana moderna y generó una psicología evolucionada que nos empujó a enseñar, hablar, imitar, emular y compartir los objetivos e intenciones de los demás. También impulsó un aprendizaje más complejo y la capacidad para calcular. Y estas facultades evolucionaron con la acumulación de cultura, ya que mejoraban la fidelidad en la transmisión de la información.

La enseñanza y el lenguaje constituyeron puntos de inflexión en la evolución de nuestro linaje. La cooperación a gran escala surgió en las sociedades humanas debido a nuestras excepcionales facultades para el aprendizaje social y para la enseñanza, como atestiguan los datos teóricos y experimentales. La cultura condujo a las poblaciones humanas por nuevas vías evolutivas, promoviendo tanto aquellos mecanismos de cooperación ya presentes en otros animales (como ayudar a aquellos que también auxilian a otros) como otros novedosos y nunca vistos en otras especies. La selección cultural de grupo —mediante prácticas que ayudan a un grupo a cooperar y a competir con otros, ya sea formando un ejército o construyendo un sistema de irrigación— se fue extendiendo a medida que demostraba sus ventajas.

La cultura proveyó a nuestros antepasados de trucos para sobrevivir y para adquirir alimentos, y cada invención suponía que esa población podía explotar su entorno de manera más eficiente. Esta circunstancia no solo estimuló el desarrollo del cerebro, sino también el crecimiento de la población. Ese aumento tanto de la población como de la complejidad social vino después de la domesticación de plantas y animales. La agricultura liberó a las sociedades de las limitaciones que, en las sociedades de cazadores-recolectores, lastraban el tamaño de la población y frenaban la creación de nueva tecnología. Sin esas trabas, las sociedades agrícolas florecieron; no solo porque podían producir más alimento por unidad de área, sino también porque la agricultura desencadenó una serie de innovaciones que cambiaron drásticamente las sociedades. En las poblaciones de mayor tamaño, sustentadas por el aumento de la producción agrícola, las innovaciones beneficiosas tenían más probabilidad de extenderse y conservarse. La agricultura precipitó una revolución no solo por impulsar técnicas relacionadas, como arados o métodos de riego, sino también por propiciar innovaciones inesperadas, como la rueda, las ciudades-Estado o las religiones.

Esta nueva imagen de la evolución cognitiva humana sugiere que, en gran medida, somos seres creados por nosotros mismos. Las características distintivas de la humanidad (inteligencia, creatividad, lenguaje o el éxito ecológico y demográfico) son, o bien adaptaciones evolutivas a las propias actividades culturales de nuestros antepasados, o bien consecuencia directa de esas adaptaciones. Para la evolución de nuestra especie, la herencia cultural parece tan importante como la genética.

Tendemos a pensar que la evolución por selección natural es un proceso en el que los cambios en el entorno (como los depredadores, el clima o las enfermedades) impulsan el refinamiento de los organismos. Sin embargo, la mente humana no evolucionó de modo tan simple. Antes bien, nuestras facultades mentales surgieron a través de un proceso complejo y recíproco en el que nuestros antepasados construían nichos, estos desencadenaban procesos de selección en el cuerpo y en la mente, y el ciclo se repetía. Hoy la ciencia puede entender las diferencias entre los humanos y los demás primates como consecuencia de un amplio repertorio de mecanismos de retroalimentación en el linaje de los homininos. Un proceso descontrolado, similar en cierto modo a una reacción química autosostenida, que impulsó la cognición y la cultura humanas. El lugar de la humanidad en el árbol evolutivo de la vida está fuera de toda duda. Pero nuestra capacidad de pensar, aprender, comunicar y controlar nuestro entorno nos hace genuinamente distintos del resto de los animales. IyC

UNA ESPECIE ÚNICA

Una visita extraterrestre

Imaginemos que una inteligencia extraterrestre analizase la biosfera de la Tierra. ¿Qué especie identificaría como distinta del resto? La respuesta es la humanidad. Estas son algunas de las razones:

Tamaño de la población. Nuestro número no se corresponde con la pauta que siguen las demás poblaciones de vertebrados. La cantidad de humanos en el planeta es varios órdenes de magnitud mayor de lo que cabría esperar para un mamífero de nuestro tamaño.

Alcance ecológico. Nuestra distribución es extraordinaria. Los humanos hemos colonizado prácticamente todas las regiones del planeta.

Control del entorno. Los humanos controlamos flujos de energía y materia muy diversos y a una escala sin precedentes.

Impacto global. La actividad humana amenaza a una cantidad de especies sin parangón y está provocando fuertes cambios evolutivos en la biosfera.

Conocimiento, comunicación e inteligencia. Los humanos destacamos en todo tipo de pruebas de aprendizaje y cognición. A diferencia de la comunicación en otros animales, el lenguaje humano es infinitamente flexible.

Adquisición e intercambio de conocimiento. Los humanos adquirimos, compartimos y almacenamos información a una escala nunca antes vista. Nuestro conocimiento cultural colectivo se va acumulando de generación en generación.

Tecnología. Los humanos inventamos y producimos en serie artefactos extraordinariamente más complejos y diversos que los de otros animales.

Un extraterrestre podrá sentir fascinación por la trompa del elefante o por el cuello de la jirafa, pero sin duda seleccionaría a nuestra especie.

PARA SABER MÁS

Social intelligence, innovation, and enhanced brain size in primates. S. M. Reader y K. N. Laland en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, págs. 4436-4441, abril de 2002.
Why copy others? Insights from the social learning strategies tournament. L. Rendell et al. en *Science*, vol. 328, págs. 208-213, abril de 2010.
Identification of the social and cognitive processes underlying human cumulative culture. L. G. Dean et al. en *Science*, vol. 335, págs. 1114-1118, marzo de 2012.

EN NUESTRO ARCHIVO

La aparición de la mente moderna. Kate Wong en *IyC*, agosto de 2005.
Cultura y evolución humana. VV.AA. Colección *Temas* de *IyC* n.º 87, 2017 (selección de artículos publicados en *IyC* sobre la íntima relación entre el desarrollo de la cultura y la evolución humana).

TECNO SAPIENS

EL DESPIECE DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DESVELA NUESTRO GENIO COLECTIVO

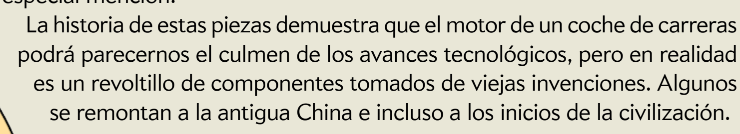
LEWIS DARTNELL

ILUSTRACIONES DE JOSÉ MIGUEL MAYO (MOTOR) Y MATTHEW TWOMBLY (INSERTOS)

NO SOLO MOSTRAMOS una extraordinaria capacidad de transmitir conocimientos de una generación a otra. Sabemos también aprovecharlos para crear nuevas técnicas, se trate de las bifaces achelenses o de la red eléctrica. Este vasto entramado de sabidurías y aptitudes prácticas ha requerido del esfuerzo de millones de personas a través de los milenios. Si la humanidad tuviera que reiniciar la civilización tras una catástrofe global, la recuperación de las sutilezas técnicas comprendidas entre la talla de la piedra y las líneas eléctricas de alta tensión podría llevar un largo tiempo.

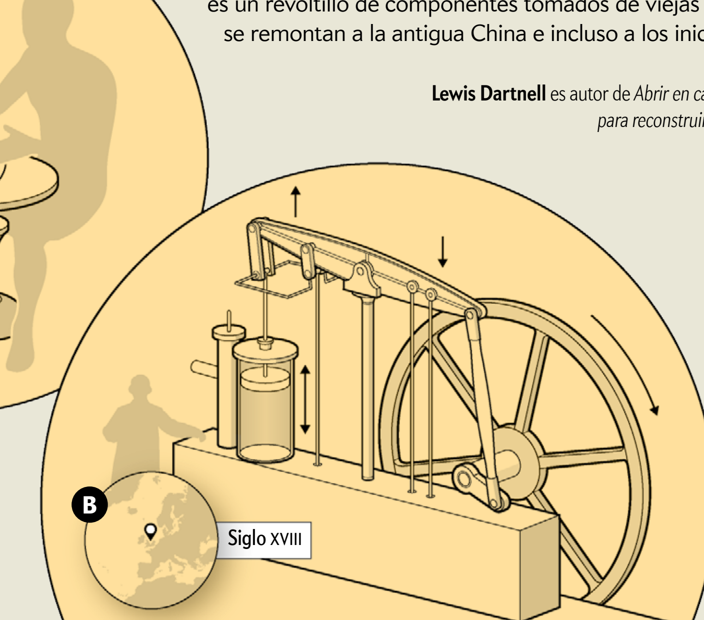
La posibilidad de enseñar, de copiar y, especialmente, de mejorar las creaciones de generaciones anteriores separa radicalmente a nuestra especie de las demás. Las invenciones casi nunca son del todo innovadoras. La mayoría son reordenaciones o complementos de técnicas preexistentes. El motor de combustión interna ofrece un ejemplo claro. Se inventó mediante la selección de componentes disponibles en una colección de módulos mecánicos ya existentes. Si le quitamos su piel metálica, el capó, y lo diseccionamos como si fuera un organismo, encontraremos una organización compacta de mecanismos individuales, cada uno de los cuales ejecuta su propia función en precisa coordinación con los otros, cada uno con su historia de siglos.

En conjunto, el motor de combustión interna transforma, casi como de milagro, el calor liberado al quemarse el combustible en el suave movimiento del vehículo. En el apresurado corazón de un automóvil hallamos un juego de cilindros y émbolos, casi iguales en su forma a los de las antiguas bombas de agua. La expansión explosiva de los gases calientes producidos por el encendido del combustible dentro de los cilindros impulsa los pistones, pero ese movimiento de vaivén debe convertirse en la rotación del eje de transmisión y de las ruedas. Tres componentes del motor (el cigüeñal, el árbol de levas y el volante de inercia, de raíces remotas los tres) merecen especial mención.



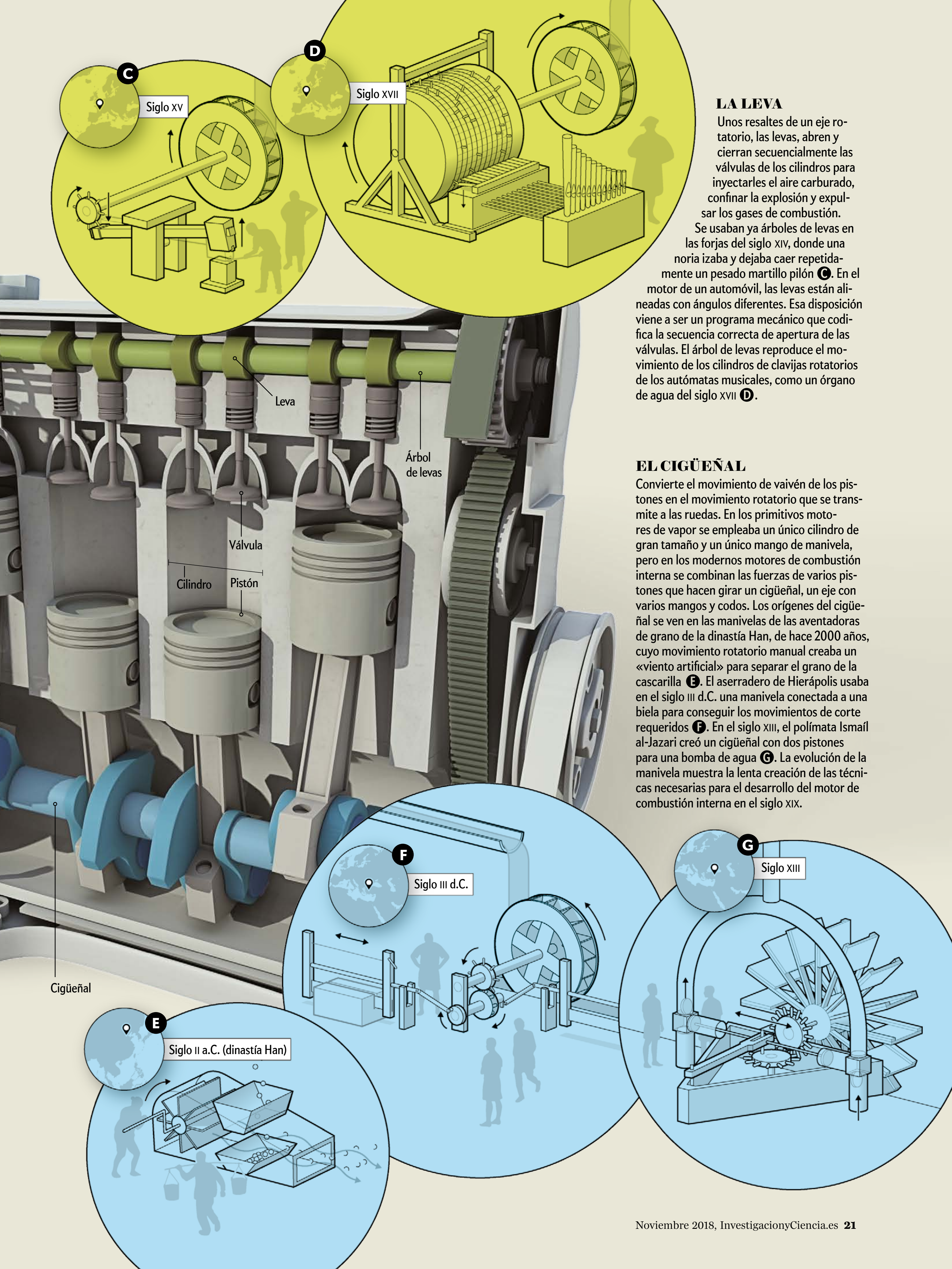
La historia de estas piezas demuestra que el motor de un coche de carreras podrá parecernos el culmen de los avances tecnológicos, pero en realidad es un revoltillo de componentes tomados de viejas invenciones. Algunos se remontan a la antigua China e incluso a los inicios de la civilización.

Lewis Dartnell es autor de *Abrir en caso de apocalipsis: Guía rápida para reconstruir la civilización* (Debate, 2015).



EL VOLANTE DE INERCIA

El encendido que impulsa los pistones de un motor de combustión interna está escalonado, pero esas sacudidas explosivas que dan vueltas al cigüeñal hacen necesario un volante de inercia que almacene la energía de rotación y uniformice el giro. Se remonta a los tornos de alfarero del antiguo Egipto **A** y era un elemento común del motor de vapor del siglo XVIII **B**, claro precursor del motor de combustión interna.



LA LEVA

Unos resaltes de un eje rotatorio, las levas, abren y cierran secuencialmente las válvulas de los cilindros para inyectarles el aire carburado, confinar la explosión y expulsar los gases de combustión.

Se usaban ya árboles de levas en las forjas del siglo XIV, donde una noria izaba y dejaba caer repetidamente un pesado martillo pilón **C**. En el motor de un automóvil, las levas están alineadas con ángulos diferentes. Esa disposición viene a ser un programa mecánico que codifica la secuencia correcta de apertura de las válvulas. El árbol de levas reproduce el movimiento de los cilindros de clavijas rotatorios de los autómatas musicales, como un órgano de agua del siglo XVII **D**.

EL CIGÜEÑAL

Convierte el movimiento de vaivén de los pistones en el movimiento rotatorio que se transmite a las ruedas. En los primitivos motores de vapor se empleaba un único cilindro de gran tamaño y un único mango de manivela, pero en los modernos motores de combustión interna se combinan las fuerzas de varios pistones que hacen girar un cigüeñal, un eje con varios mangos y codos. Los orígenes del cigüeñal se ven en las manivelas de las aventadoras de grano de la dinastía Han, de hace 2000 años, cuyo movimiento rotatorio manual creaba un «viento artificial» para separar el grano de la cascarilla **E**. El aserradero de Hierápolis usaba en el siglo III d.C. una manivela conectada a una biela para conseguir los movimientos de corte requeridos **F**. En el siglo XIII, el polímata Ismaíl al-Jazari creó un cigüeñal con dos pistones para una bomba de agua **G**. La evolución de la manivela muestra la lenta creación de las técnicas necesarias para el desarrollo del motor de combustión interna en el siglo XIX.



DOS FACULTADES CLAVE FORJARON LA INTELIGENCIA HUMANA

PARTE I

¿Por qué nosotros?

LA ESENCIA DE NUESTRA MENTE

THOMAS SUDDENDORF :: *ILUSTRACIÓN DE VICTO NGAI*

P

OR QUÉ NOSOTROS, Y NO LOS GORILAS, DIRIGIMOS LOS ZOOS? Los demás primates viven una existencia discreta en hábitats en regresión, pero la humanidad ha modelado su entorno y ensanchado sus límites hasta cotas asombrosas. Resulta evidente que esa hegemonía no es fruto de la fuerza física; otros animales son más fuertes y veloces y poseen sentidos más agudos. Es merced a nuestra inteligencia. Pero determinar las facultades cognitivas que nos hacen tan singulares ha resultado ser una incógnita sumamente compleja, la cual se ha complicado aún más por la frecuente aparición de estudios novedosos que parecen demostrar que los animales, desde aves hasta chimpancés, pueden emular muchas de las habilidades cognitivas humanas.

EN SÍNTESIS

Es indudable que el ser humano piensa de modo distinto a los animales, pero es difícil diseñar experimentos que señalen qué convierte en singular la cognición humana.

Con todo, las investigaciones han revelado dos rasgos netamente humanos: la figuración de situaciones complejas y el intercambio de ideas con los congéneres.

Junto a esos rasgos subyacen competencias primordiales para la especie humana, como el lenguaje, la cultura, la moralidad, la visión de futuro e incluso cierta capacidad de «leer la mente».

Por citar un ejemplo, un estudio publicado en *Science* el año pasado afirmaba atrevidamente que el cuervo común es capaz de planificar con anticipación, a semejanza del ser humano. Cinco ejemplares de la especie aprendieron a tomar una piedra y a lanzarla en una caja para obtener una recompensa. En lo sucesivo, supieron escoger, minutos e incluso horas antes de que pudieran acceder a la caja, la piedra entre otros objetos dispuestos para distraerlos. A la vista de ese logro, sumado al de una tarea similar en la que intercambiaron tapones de botella por premios, los investigadores llegaron a la conclusión de que el cuervo «piensa con antelación» de forma flexible, una capacidad primordial del intelecto humano.

Pero los logros del cuervo, al igual que las proezas cognitivas demostradas por los simios superiores en otros estudios, se pueden explicar de formas más sencillas. Además, resulta que la cognición animal y la humana, si bien son similares en numerosos aspectos, difieren en dos dimensiones primordiales. La primera es la capacidad para imaginar situaciones complejas, crear un teatro interior que nos permite visualizar y barajar numerosos sucesos hipotéticos y prever desenlaces diversos. La segunda es el impulso de compartir nuestras ideas y nuestros pensamientos con otros. Tomados en conjunto, la aparición de estas dos facultades cambió la mente humana y nos encarriló por una senda que ha acabado transformando el mundo.

CEREBRO DE PÁJARO

Comencemos por lanzar una mirada más atenta al experimento de los cuervos. Antes de que diera comienzo el ensayo propiamente dicho, las aves ya habían aprendido a lo largo de varias tentativas a reconocer que el objeto de interés, la piedra, reportaba un premio y que los objetos de distracción no. Por eso no suscita sorpresa que, al iniciarse las pruebas definitivas, escogieran aquello para lo que ya habían sido condicionadas.

Esta es una razón de peso por la que los científicos, antes de lanzarse a sacar conclusiones sobre capacidades complejas de los animales, deben descartar metódicamente otras posibles explicaciones más sencillas. También es obligado reproducir los resultados de forma independiente y reiterada. En mi laboratorio, lo hemos intentado hacer con niños pequeños por medio de estudios que limitan el riesgo de confundir el comportamiento regido por mecanismos sencillos con el que es fruto de la cognición compleja. Recurrimos a sesiones únicas donde los participantes ejecutaban tareas nuevas, sin volver a repetirlas en otra ocasión, todo con objeto de no dar cabida al aprendizaje por repetición. También modificamos el ritmo y el contexto espacial de las pruebas para no ofrecer pistas sobre la solución, además de concebir ejercicios que implican el uso de diversas habilidades a fin de mitigar los efectos de comportamiento que podrían derivar de una rara predisposición innata del niño.

De este modo, en una sala mostramos a los pequeños un rompecabezas antes de conducirlos a otra en la que se distrajeron con tareas sin relación con la anterior. Al cabo de 15 minutos, se les dio la opción de escoger uno de entre varios objetos nuevos que podían llevar a la primera estancia. Los niños de tres años escogieron al azar, pero los de cuatro tendieron a elegir el objeto que después les ayudaría a resolver el rompecabezas del principio. Habíamos usado este paradigma básico para valorar la capacidad de práctica deliberada, que constituye el ensayo de las acciones destinadas a mejorar la aptitud en el futuro

Dos rasgos transformadores

La investigación en psicología comparativa ha descubierto diversas capacidades cognitivas compartidas por animales y humanos en dominios como la comunicación, la memoria, el razonamiento social, el razonamiento físico, la tradición y la empatía. Pero dos rasgos singularmente humanos contribuyeron a transformar esas capacidades en habilidades mentales que nos diferencian del mundo animal. Uno de ellos, la figuración de situaciones complejas, nos permite imaginar varios sucesos posibles con desenlaces distintos, e integrarlos en una narrativa más amplia de acontecimientos conexos. El segundo es el impulso de relacionarnos con los demás, a intercambiar ideas y pensamientos con el prójimo, lo que nos lleva a logros que superan con creces la capacidad de un solo individuo. Ambos rasgos se potencian mutuamente y han modificado nuestra mente: han propiciado la aparición del lenguaje, el viaje mental en el tiempo, la moralidad, la cultura, la capacidad de «leer la mente» (discernir los pensamientos de otros) y la facultad de elaborar y compartir explicaciones abstractas del mundo que nos rodea.

FEDERICA FRAGAPANE

[*véase* «La evolución de nuestra excepcionalidad», *en la página 12*]. De este modo, los niños tuvieron la oportunidad de practicar el enceste con una pelota atada a un vaso con una cuerda antes de regresar a la primera sala, donde fueron recompensados si demostraban su pericia en una tarea similar. Comprobamos que los niños pequeños prepararon deliberadamente sus competencias futuras —practicaron la habilidad pertinente en la segunda sala— en torno a los cuatro o cinco años, pero no antes.

Tales tareas han sido concebidas para averiguar si se está en posesión de aptitudes básicas en ámbitos como la visión de futuro o prospectiva, pero no delimitan los límites superiores de esas aptitudes. Por ejemplo, cuando mi hijo cumplió cuatro años, le planteamos una versión de esa tarea, que supo acometer con éxito. Aquel mismo día, horas más tarde, mientras estábamos sentados al borde de su cama en casa, puso su mano sobre mi pierna y me dijo: «Papá, no quiero que te mueras». Cuando le pregunté por qué decía eso, me respondió que él se haría mayor, que yo envejecería y que, al final, moriría. Poseía la compleja capacidad de visualizar los hechos futuros que conlleva esa desagradable verdad de la existencia. Nuestro estudio demostró meramente que tenía visión de futuro y descartó las explicaciones más sencillas.

Las investigaciones con cuervos y otros animales no han satisfecho similares criterios rigurosos para confirmar la visión prospectiva, ni han conseguido demostrar la práctica deliberada. ¿Significa eso que carecen de esas capacidades relevantes? Sería prematuro afirmarlo. La ausencia de pruebas no prueba la ausencia, dice el aforismo. Verificar la competencia en los animales es difícil; confirmar su inexistencia lo es aún más.

Echemos un vistazo ahora al estudio siguiente, en el que junto con Jon Redshaw, de la Universidad de Queensland, quisimos examinar uno de los aspectos fundamentales del pensamiento prospectivo: el reconocimiento de que en buena medida es incierto. Cuando uno se percata de que los acontecimientos pueden sobrevenir de varias maneras, es lógico prepararse para varias posibilidades y trazar planes de

contingencia. Los cazadores demuestran esto cuando tienden trampas ante todas las vías de escape de una presa, en lugar de ante una sola. Nuestro sencillo test para poner a prueba esta capacidad consistió en mostrar a un grupo de chimpancés y orangutanes un tubo vertical y dejar caer por su boca superior una recompensa que pudieron recoger por la inferior. Comparamos la actuación de estos simios con la de un grupo de niños de dos a cuatro años en la misma tarea. Ambos supieron deducir que el premio reaparecería por el fondo del tubo: a la espera, colocaron la mano bajo el orificio de salida.

Después complicamos la prueba. Sustituimos el tubo recto por otro en forma de *Y* invertida, con dos orificios de salida. Expectantes, los simios y los bebés de dos años tendieron a tapar una sola salida y acabaron obteniendo la recompensa en la mitad de los intentos. En cambio, los niños de cuatro reconocieron de inmediato que debían abarcar ambas salidas con sus manos, lo cual demuestra su capacidad de estar preparados por lo menos para dos versiones mutuamente excluyentes de un suceso inminente. Entre el segundo y el cuarto año de vida, vimos que este plan de contingencia se volvía más frecuente. No constatamos esa habilidad en los simios.

Dicho experimento, empero, no demuestra que los simios y los niños de dos años no entiendan que el futuro puede devenir de un modo distinto. Como he dicho, existe un problema fundamental a la hora de verificar la carencia de una facultad. Tal vez los simios no estuvieron lo bastante motivados, no entendieron la tarea básica o no coordinaron las dos manos. O quizá, sencillamente no contamos con los individuos idóneos y otros más competentes habrían superado la prueba.

Para demostrar con certeza que carecen de esa facultad, sería preciso someter a prueba a todos los animales y en todas las circunstancias, en alguna tarea muy fácil, algo sin duda impracticable. Todo lo que podemos hacer es dar la oportunidad a los individuos de demostrar su competencia. Si fallan de forma sistemática, podemos tener mayor confianza en que realmente no poseen esa capacidad en cuestión, pero incluso entonces, investigaciones futuras podrían demostrar que andábamos errados. El debate entablado entre las interpretaciones complejas y simples del comportamiento animal, sumado al problema fundamental de demostrar que no se posee cierta facultad, ha hecho difícil diferenciar los rasgos humanos de los que no lo son.

DOS RASGOS SINGULARES

Difícil, pero no imposible. En mi libro *The science of what separates us from other animals* [«La ciencia de lo que nos distingue de los animales»], examiné los datos sobre las capacidades cognitivas que suelen atribuirse a los humanos y descubrí que los animales son más inteligentes de lo que muchos creen. Los chimpancés muestran perspicacia en la resolución de problemas, consuelan a otros iguales tristes y mantienen tradiciones sociales. Pero hay algo profundamente distinto en el lenguaje, la prospectiva, la inteligencia, la cultura y la moralidad del ser humano, así como en la facultad de imaginar los pensamientos de otros. Y en cada uno de esos dominios surgen una y otra vez dos características que nos diferencian de los animales. A una de ellas la denomino «figuración de situaciones complejas»: nuestra capacidad para imaginar distintas realidades, encarnarnos en ellas e incorporarlas a narrativas más amplias de sucesos relacionados. La otra es el «deseo imperioso de relacionarnos», ese impulso profundamente arraigado de compartir nuestras ideas y pensamientos con otros, en virtud del cual unimos nuestras mentes para crear algo mucho mayor de lo que uno mismo podría hacer solo.

La figuración de situaciones complejas nos permite ponernos en la piel de otras personas, en sus dilemas morales, o bien elaborar relatos ficticios. En el marco del pensamiento prospectivo, nos ayuda a imaginar posibles sucesos futuros, barajar las opciones e integrarlas en tramas de acontecimientos que pueden producirse. Esto, a su vez, nos permite planificar y prepararnos para las oportunidades y las amenazas antes de que se materialicen.

Los animales, incluso las bacterias, están sincronizados con fenómenos periódicos, como los ritmos circadianos, y muchos pueden amoldarse también a patrones locales. Y por medio del aprendizaje asociativo predicen si un suceso traerá consigo una recompensa o un castigo. Pero las personas podemos cavilar sobre situaciones, incluso sobre supuestos totalmente nuevos, sin necesidad de desencadenantes externos. Combinamos y recombinamos en nuestra mente elementos básicos, como actores, acciones y objetos, y de esos ejercicios mentales extraemos conclusiones. Un ejemplo sencillo: no cuesta suponer que jugar a la gallinita ciega en una calle con tráfico intenso es una propuesta peligrosa, aunque no hayamos estado nunca en esa situación. La figuración de situaciones complejas exige la coordinación de un sinfín de facultades avanzadas, como la imaginación, la memoria, la reflexión y la toma de decisiones.

Pensemos en la figuración de situaciones complejas como en un teatro interior en el que hay que reunir ciertos componentes. Por un lado, tenemos un «escenario» destinado a imaginar sucesos que no están ocurriendo en ese momento. Esos sucesos constan de «actores» y de un «decorado»: individuos y objetos que forman parte de una narrativa. También empleamos competencias parecidas a las de un «director», que evalúa y organiza las escenas, y a las de un «productor ejecutivo», que toma las decisiones sobre qué intenciones perseguimos. Estos componentes están delimitados por estructuras mentales, como la memoria operativa, el pensamiento recursivo y la función ejecutiva, unas facultades que adquirimos en distintos momentos de la infancia. Como resultado, la visión prospectiva aparece lentamente conforme maduramos.

Pero en la edad adulta no siempre acertamos en la predicción de las situaciones futuras. No somos clarividentes. Así pues, dado que la figuración de situaciones complejas es un modo arriesgado de tomar decisiones, necesitamos emparejarla con una



Thomas Suddendorf es profesor de psicología en la Universidad de Queensland. Estudia el desarrollo de las capacidades mentales en los niños pequeños y en los primates para responder a preguntas fundamentales acerca de la naturaleza y la evolución de la mente humana.

segunda característica: la conexión de los intelectos. El psicólogo Michael Tomasello ha descrito esa competencia como intencionalidad compartida [*véase* «Los orígenes de la moralidad», *en la página 58*]. Al fin y al cabo, el mejor modo de saber más sobre el futuro es preguntar a alguien que ya ha estado allí, por así decirlo.

Si de veras se quiere saber cómo son unas vacaciones en Nueva Zelanda o lo que supone estudiar psicología, podemos hacer todas las elucubraciones que queramos, pero el mejor modo de averiguarlo es preguntar a alguien que haya visitado ese país o que haya optado por esa carrera profesional. El lenguaje humano es perfectamente apropiado para tales intercambios. Así aprendemos de las experiencias, reflexiones y planes del prójimo. Formulamos preguntas y damos consejos, un proceso en el que trabamos lazos profundos. Lo que es más, podemos modelar el futuro coordinando nuestras acciones con el afán de alcanzar una meta común.

Si nos paramos a pensar, la mayoría de nuestras extraordinarias facultades nacen de nuestro intelecto colectivo: todos nos beneficiamos de los inventos ideados por otras personas. Son muchos los animales que usan herramientas, algunos incluso las fabrican, pero para hacer de ellas una innovación es preciso reconocer que volverán a ser útiles en el futuro. Una vez se es consciente de ello, se tiene un motivo para conservar la herramienta, mejorarla y compartirla con los demás.

Esa evolución resulta patente en el creciente refinamiento de los ingenios humanos destinados a causar daño a distancia. Probablemente, esa fue una cuestión de vida o muerte para nuestros ancestros remotos, quienes convivieron con los temibles felinos con dientes de sable. De buen principio, se limitaron a lanzar piedras para ahuyentar a las fieras, pero acabaron por armarse con lanzas, después inventaron los propulsores y, al fin, el arco y las flechas. Ahora bien, toda herramienta nueva solo supone un avance si se le sabe dar el uso apropiado, lo que nos lleva de nuevo a la práctica deliberada. Se ha descrito cómo chimpancés de Senegal fabrican lanzas rudimentarias que introducen en las oquedades de los árboles para apresar gálagos. Pero hasta ahora no se tiene constancia de que practiquen con ellas el alanceo, ni menos aún que las arrojen a lo lejos. A diferencia de los humanos, no sacarían provecho alguno de la invención del propulsor. Aunque se les ofreciera uno, no lo usarían como nosotros.

La prueba más antigua de práctica deliberada se remonta a hace más de un millón de años. La industria lítica achelense propia de *Homo erectus*, con 1,8 millones de años, ya denota una previsión considerable, pues parece que los útiles se transportaron de un lugar a otro para su uso reiterado. La manufactura exige notables conocimientos sobre el material pétreo y la talla. En algunos yacimientos, como el de Olorgesailie en Kenia, el suelo aparece sembrado de piedras talladas, lo cual suscita la pregunta de por qué nuestros ancestros siguieron fabricándolas cuando disponían de ellas en abundancia. La respuesta es que probablemente practicaban la talla de esas herramientas. Una vez adquirida la destreza necesaria, pudieron vagar por las llanuras sabedores de que si una se rompía podrían fabricar otra nueva. Estos ancestros iban armados y listos para disparar de nuevo.

La mayoría de las especies animales pueden clasificarse como especialistas o generalistas, pero el ser humano reúne ambos rasgos. Se adapta con rapidez a las demandas locales, incluso a las futuras, mediante la adquisición de la pericia necesaria. Asimismo, a través de la cooperación y la división del trabajo, se beneficia de habilidades complementarias, lo que le permite dominar los entornos más diversos. Hasta puede mantener a los depredadores más feroces cautivos en un zoológico, porque puede prever sus necesidades y capacidades. Por el momento no existen pruebas de que otras especies se embarquen en ese viaje mental en el tiempo, ni de que maquinen planes para una fuga coordinada del zoológico cuando las condiciones sean propicias.

Con la imaginación de situaciones complejas y la tendencia a enlazar sus intelectos, nuestros antepasados acabaron fundando civilizaciones y logrando avances técnicos que han alterado la faz del planeta. La ciencia consiste en el uso disciplinado de nuestro intelecto colectivo, que puede servirnos para entender mejor el origen de nuestro lugar en la naturaleza y para modelizar el futuro. Con la predicción de las consecuencias de nuestras acciones también nos confrontamos con dilemas morales. Podemos predecir las repercusiones de seguir contaminando y destruyendo los hábitats de los animales, informar a otros sobre ellas y, tal y como los acuerdos de la cumbre del clima de París demuestran, negociar acciones consensuadas a escala mundial para un desenlace menos desfavorable.

Nada de esto nos debe llevar a la arrogancia. En realidad, es un llamamiento a la sensatez. Somos los únicos seres del planeta dotados de semejantes facultades. Como dijo el tío de Spiderman cuando quería conectar con su sobrino superhéroe para comunicarle ideas complejas: «Un gran poder entraña una gran responsabilidad». IyC

PARA SABER MÁS

The gap: The science of what separates us from other animals. Thomas Suddendorf. Basic Books, 2013.
A natural history of human thinking. Michael Tomasello. Harvard University Press, 2014.
Flexible planning in ravens? Jonathan Redshaw, Alex H. Taylor y Thomas Suddendorf en *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 21, n.º 11, págs 821-822, noviembre de 2017.
Prospection and natural selection. T. Suddendorf, A. Bulley y B. Miloyan en *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 24, págs 26-31, diciembre de 2018.

EN NUESTRO ARCHIVO

La aparición de la mente moderna. Kate Wong en *IyC*, agosto de 2005.
El origen de la mente. Marc Hauser en *IyC*, noviembre de 2009.
Informe especial: Orígenes del pensamiento. VV.AA. en *IyC*, febrero de 2012.
A golpe de suerte. Ian Tattersall en *IyC*, noviembre de 2014.
La pequeña gran diferencia. Gary Stix en *IyC*, noviembre de 2014.



PARTE I

¿Por qué nosotros?

CÓMO DESCIFRAR EL ENIGMA DE LA CONSCIENCIA HUMANA

EL PROBLEMA MÁS DIFÍCIL

SUSAN BLACKMORE :: *ILUSTRACIÓN DE VICTO NGAI*



ERÁ REALMENTE EL SER HUMANO LA ÚNICA ESPECIE CONSCIENTE del planeta? ¿Serán las langostas y los leones, las abejas y los murciélagos meros autómatas que vagan por este mundo sin experimentar la más mínima consciencia? Aristóteles así lo creía y defendía que el hombre está en posesión de un alma racional, mientras que el animal solo conserva el instinto necesario para subsistir. En la cristiandad medieval, la *scala naturae* (cadena de los seres) nos situaba por encima de los animales sin alma, solo por debajo de Dios y los ángeles. En el siglo XVII, el filósofo René Descartes sostenía que los animales se regían solo por actos reflejos. Pero cuanto más ahondamos en la biología, más obvio resulta que no solo compartimos con ellos la anatomía, la fisiología y la genética, sino también la visión, el oído, la memoria y la expresión afectiva. ¿Seremos de veras los únicos poseedores de ese algo más tan especial? ¿Del maravilloso mundo interior de las experiencias subjetivas?



Susan Blackmore es psicóloga y profesora invitada en la Universidad de Plymouth. Es autora de numerosos libros, el más conocido de los cuales es *La máquina de los memes* (Grupo Planeta, 2000).

La pregunta es compleja, pues la consciencia, tan obvia como parece, quizá sea la cosa más difícil de estudiar. Ni siquiera tenemos una definición clara más allá de la respuesta a la conocida pregunta planteada por el filósofo Thomas Nagel en 1974: ¿Cómo es ser un murciélago? Nagel lo eligió por llevar una vida muy distinta a la nuestra. Podemos intentar imaginar cómo es dormir cabeza abajo o volar por el mundo con un sónar. Pero ¿acaso eso nos hace sentir ser algo? El quid de la cuestión es que, si no hay nada que haga que nos sintamos como un murciélago, podemos decir que no tiene consciencia. Si hubiera algo (lo que sea) que nos hiciera sentirnos como él, entonces la tendría. ¿Sabemos si hay algo?

Compartimos mucho con los quirópteros: ambos tenemos oídos y podemos imaginar que los brazos son alas. Pero intentemos imaginar ahora que somos un pulpo: ocho brazos ondulantes, prensiles y sensibles para desplazarnos y atrapar presas, carentes de esqueleto y capaces de escabullirnos por huecos diminutos. Solo un tercio de sus neuronas se halla en un cerebro central, las demás radican en los nervios de los tentáculos, uno por cada brazo. Recapitulemos: ¿hay algo que nos haga ser como un pulpo, su cerebro o uno de sus tentáculos? La ciencia de la consciencia no nos pone fácil la respuesta.

Aún peor es el «gran problema» de la consciencia: ¿cómo brota la experiencia subjetiva de la actividad objetiva del cerebro? ¿Cómo pueden las neuronas corpóreas, con todas sus comunicaciones químicas y eléctricas, crear las sensaciones de dolor, del maravilloso rojo del atardecer o del sabor de un delicado burdeos? Se trata de un problema de dualismo: ¿cómo surge la mente de la materia? ¿Seguro que lo hace?

La respuesta a esa pregunta divide a los estudiosos en dos bandos. A un lado el «equipo B», como el filósofo Daniel C. Dennett lo calificó en un acalorado debate, que cavila sobre el gran problema y cree en la posibilidad del «zombi» de los filósofos, una criatura imaginaria indistinguible de ninguno de nosotros, pero carente de consciencia. Creer en él significa que sería concebible que otros animales vean, oigan, coman y se apareen «en la más completa oscuridad», sin ninguna experiencia subjetiva. De ser cierta, la consciencia sería un atributo especial, una

posesión que muchos calificarían de don, surgido, o no, durante la evolución.

Ante ellos se halla el «equipo A», formado por quienes rechazan la posibilidad del zombi y opinan que el gran escollo es, parafraseando a la filósofa Patricia Churchland, un «problema embaucador» que confunde la cuestión. Tanto si la consciencia *es* solo fruto de la actividad del cuerpo y el cerebro, como si ineludiblemente viene con todo, es obvio que la compartimos con algunos animales. Desde este punto de vista, carece de sentido preguntarse cuándo o por qué evolucionó la «consciencia de sí mismo», ni cuál es su función, pues no existe.

SUFRIMIENTO

¿Por qué nos importa todo esto? Una razón es el sufrimiento. Cuando por accidente piso la cola a mi gata y sale corriendo entre maullidos, tengo por seguro que le he hecho daño. Esta conducta puede ser engañosa, porque si colocamos sensores de presión en la cola de un gato autómata para que emita un maullido al pisarlo, no pensaríamos que siente dolor. Muchos adoptan el vegetarianismo por el trato que reciben los animales de granja. ¿Son las vacas y los cerdos unas pobres bestias que añoran vivir en libertad? ¿Sufren las gallinas hacinadas en jaulas diminutas? Los experimentos etológicos demuestran que, si bien disfrutan escarbando y escogerían una jaula con suelo o cama si el acceso fuera franco, no se toman la molestia de apartar una pesada cortina para llegar a él. Por lo tanto, ¿les importa realmente? Las langostas emiten un chillido terrible cuando las hierven vivas, pero ¿no se deberá simplemente al aire que sale expelido del caparazón?

Cuando se lastima a las langostas o a los cangrejos, cuando se les saca del agua o se les retuerce una pinza para arrancarla, liberan hormonas del estrés parecidas al cortisol y a la corticosterona. Esta respuesta fisiológica incita a creer que sufren. Una prueba más contundente es que el andar renqueante de los langostinos lesionados se palía con los mismos analgésicos que alivian nuestro dolor.

Lo mismo ocurre con los peces. Cuando se inyecta ácido acético en los labios de una trucha arcoiris, se sacude con frenesí y los restriega contra las paredes del tanque y la arenilla; si se le da morfina, se reducen estas reacciones. Cuando a unos peces cebra se les dio a elegir entre un tanque con arenilla y plantas y otro sin nada, optaron por el primero. Pero si se les inyectaba ácido y el tanque desolado contenía un analgésico, nadaban hacia este. Su dolor quizá sea más simple o, en todo caso, distinto del nuestro, pero los experimentos indican que lo sienten.

Algunos no están del todo convencidos. El biólogo Brian Key argumenta que los peces podrían responder como si sintieran dolor, pero eso no demuestra que sientan algo conscientemente. En la revista *Animal Sentience* afirma que los estímulos nocivos «no hacen que nada se sienta como ser un pez» y añade que la consciencia humana se basa en la amplificación de las señales y la integración global, mientras que los peces carecen de una arquitectura neural que permita la existencia de esas conexiones. Key rechaza todas las pruebas conductuales y fisiológicas y se basa solo en la anatomía para respaldar la singularidad humana.



¿QUÉ ES SER UN MURCIÉLAGO? Si algo se siente como ser esa criatura (en la imagen, un murciélago rabón de Geoffroy), entonces es consciente.

NICOLAS REUSENS, GETTY IMAGES

UN MUNDO DE CEREBROS DIFERENTES

Si tales estudios no resuelven la incógnita, quizás ayude la comparación de los cerebros. ¿Tendrá la singular consciencia humana su origen en un cerebro voluminoso? La farmacóloga Susan Greenfield propone que en el reino animal la consciencia crece con el volumen cerebral. Si estuviera en lo cierto, el elefante africano o el oso pardo serían más conscientes que nosotros, y un gran danés o un dálmata lo serían más que un pequinés o un pomerania. No tiene sentido.

Más relevantes que el tamaño serían los aspectos organizativos y operativos que se consideran indicadores de la consciencia. Casi todos los mamíferos y muchos otros animales (multitud de peces y reptiles y algunos insectos, entre otros) alternan entre el sueño y la vigilia, o al menos muestran claros ritmos circadianos de actividad y capacidad de respuesta. Ciertas partes del cerebro, como el tronco encefálico inferior en los mamíferos, controlan esos estados. En el mismo sentido que la vigilia, la mayoría de los animales son, por tanto, conscientes. Pero sigue sin ser lo mismo que preguntarse si tienen contenido consciente: si hay algo que sea como ser una babosa despierta o un lagarto vivaracho.

Científicos como Francis Crick y, más recientemente, el neurocientífico Anil Seth, han defendido que la consciencia depende de interacciones muy extensas, relativamente rápidas pero de poca amplitud entre el tálamo, un apeadero sensitivo en el centro del cerebro, y la corteza, la sustancia gris radicada en la superficie del órgano. Aseguran que estos bucles ta-

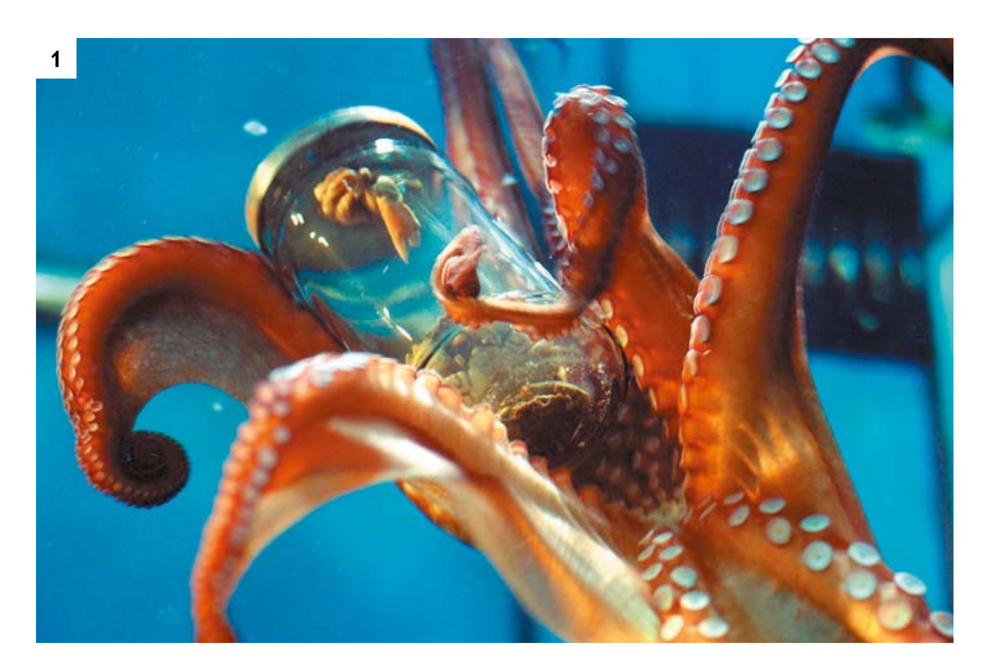
EN SÍNTESIS

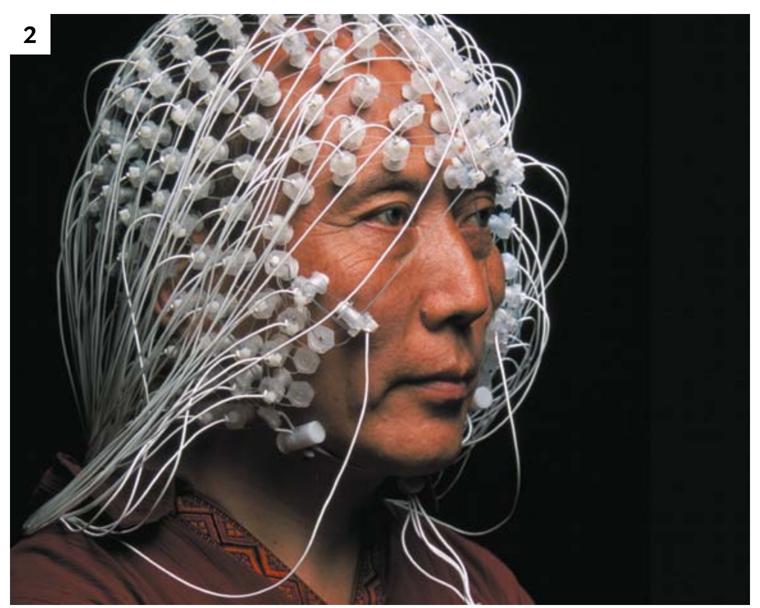
Las pruebas fisiológicas y conductuales indican que el ser humano es básicamente idéntico a muchos animales en su respuesta ante los estímulos dolorosos y placenteros.

Aun así, los entendidos no se ponen de acuerdo sobre la consciencia y el sufrimiento animal.

También debaten con ardor sobre el propósito evolutivo de la consciencia y el momento de su aparición.

Casi todos los aspectos de la consciencia son motivo de debate: unos opinan que sería mensurable, otros la creen mera ilusión.





UN PULPO del zoológico Hellabrunn de Múnich (*1*) abre un tarro de sabrosos cangrejos. Solo un tercio de sus neuronas radican en el cerebro central, pues el resto están repartidas por los tentáculos. Si posee consciencia, ¿dónde residirá? Los sensores adheridos a la cabeza de este monje en plena meditación (*2*) captan su actividad cerebral, pero sigue siendo un misterio cómo se crea ese estado mental a partir de ella.

lamocorticales ayudan a integrar la información por todo el cerebro y constituyen la base de la consciencia. Si fuese cierto, el hallazgo de esas características en otras especies sería un indicio de su existencia. Seth concluye que los mamíferos provistos de tales estructuras son, pues, conscientes. Muchos otros animales no lo serían, como la langosta y el langostino, por carecer de corteza y bucles talamocorticales. Quizá necesitemos teorías más específicas para hallar las peculiaridades críticas.

Entre las más aceptadas se halla la teoría del espacio de trabajo global, propuesta por el neurocientífico Bernard Baars. La idea es que el cerebro humano está organizado en torno a un espacio de trabajo, algo así como una memoria operativa. Cualquier contenido mental que se geste en ese espacio, o sobre el «escenario» brillantemente iluminado del teatro de la mente, se retransmite al resto del cerebro inconsciente. Esa retransmisión general otorga la consciencia al individuo.

Esta teoría implica que los animales sin cerebro, como la estrella y el erizo de mar o las medusas, no pueden ser conscientes en absoluto. Tampoco pueden serlo aquellos cuyo cerebro carezca de la arquitectura idónea para el espacio de trabajo, como es el caso de peces, pulpos y muchos otros. En cambio, como hemos visto, diversas pruebas etológicas indican que sí lo son.

La teoría de la información integrada (TII), concebida por el neurocientífico Giulio Tononi, define con fundamentos matemáticos una cantidad denominada Φ («fi») como medida del grado en que la información de un sistema se diferencia en partes o se unifica en un todo. Distintas formas de medir Φ llevan a concluir que los cerebros grandes y complejos como el nuestro poseen una Φ alta, que procede de la amplificación e integración de la actividad neural por gran parte del órgano. Los sistemas más simples tendrían una Φ baja, con diferencias motivadas por la organización propia de cada especie. A diferencia de la teoría del espacio de trabajo global, la TII no descarta que los animales sencillos puedan tener una consciencia rudimentaria, así como las máquinas organizadas de manera adecuada con una Φ alta [*véase* «La teoría de la información integrada», por Christof Koch; Mente y Cerebro n.º 73, 2015].

En la actualidad ambas rivalizan por conformar una teoría definitiva que ayude a responder a la pregunta. Pero cuando se trata de la consciencia animal, sus respuestas entran claramente en conflicto.

LA MENTE EN EVOLUCIÓN

Así pues, los estudios etológicos, fisiológicos y anatómicos brindan respuestas contradictorias, como las dos teorías más aceptadas sobre la consciencia. ¿Ayudarían a explorar cómo, por qué y cuándo surgió?

De nuevo aquí nos topamos con un abismo entre los dos grupos de investigadores. Conscientes como somos sin género de dudas, los del equipo B suponen que esa facultad debe cumplir una función, como dictar el comportamiento o ponernos a salvo del peligro. Pero sus conjeturas acerca del momento en que surge abarcan desde hace miles de millones de años hasta los tiempos históricos.

ALAMY (1); CARY WOLINSKY, GETTY IMAGES (2)

El psiquiatra y neurólogo Todd Feinberg y el biólogo Jon Mallat proponen, sin pruebas convincentes, una teoría opaca de la consciencia con arquitecturas neurales «jerarquizadas y no jerarquizadas» y tipos concretos de imágenes mentales que atribuyen a la fauna de hace entre 560 y 520 millones de años. Baars, el autor de la teoría del espacio de trabajo global, vincula la aparición de la consciencia a la del cerebro de los mamíferos hace 200 millones de años. El arqueólogo Steven Mithen apunta a la explosión cultural que comenzó hace 60.000 años, cuando se aunaron habilidades independientes en un cerebro previamente dividido. El psicólogo Julian Jaynes secunda esa unificación, pero opina que tuvo lugar mucho más tarde. Al no hallar rastro de un vocablo para la consciencia en la *Ilíada*, concluye que los griegos prehoméricos no eran conscientes de sus pensamientos del mismo modo que nosotros, por eso atribuían sus voces interiores a los dioses. En suma, Jaynes argumenta que hasta hace 3000 años las personas no tenían experiencias subjetivas.

¿Es correcta alguna de esas ideas? Según el equipo A, todas son erróneas porque la consciencia no tiene una función ni un origen independiente: no es de esa clase de cosas. Entre los miembros del equipo figuran «materialistas eliminativos» como Patricia y Paul Churchland, que sostienen que la consciencia *es* tan solo la actividad de las neuronas y que un día lo aceptaremos, tal y como aceptamos que la luz *es* solo radiación electromagnética. La TII también niega que la consciencia tenga un funcionamiento distinto, pues cualquier sistema con una Φ lo bastante alta debe ser forzosamente consciente. Ninguna de esas teorías otorga singularidad a la consciencia humana, pero sí a una idea final.

Llegamos a la consabida afirmación, aunque mal entendida, de que la consciencia es una ilusión. Este punto de vista no niega la existencia de la experiencia subjetiva, pero reivindica que ni la consciencia ni el yo son lo que parecen. Las teorías ilusionistas incluyen la idea del psicólogo Nicholas Humphrey de que un «espectáculo de misterios mágicos» se nos escenifica en la cabeza. Según plantea, el cerebro urde las experiencias sobre la marcha, en un relato que sirve al propósito evolutivo de darnos una razón para vivir. Le sigue la teoría del esquema de atención, del neurocientífico Michael Graziano, en la que el cerebro construye un modelo simplificado de cómo y a qué presta atención. Cuando esta idea se vincula con un modelo del yo, permite que el cerebro (de hecho, cualquier máquina) se describa a sí mismo por tener experiencias conscientes.

Ahora bien, la hipótesis ilusionista más conocida es, con mucho, la «teoría de los borradores múltiples» de Dennett: el cerebro es un sistema esencialmente paralelo sin ningún escenario central en el que «yo» visualizo o controlo el mundo. En su lugar, se procesan sin cesar multitud de borradores de percepciones y pensamientos, pero ninguno es consciente ni inconsciente hasta que se explora el sistema y se desencadena una respuesta. Solo entonces podemos decir que el pensamiento o la acción era consciente; la consciencia es, pues, una atribución que hacemos después del hecho. Dennet relaciona esto con la teoría de los memes (un meme es una información que se copia de persona a persona, que comprende palabras, historias, técnicas, modas y costumbres). Puesto que el ser humano es capaz de imitar de manera generalizada y extendida, consigue copiar, variar y seleccionar los memes para gestar el lenguaje y la cultura. «La consciencia humana *es en sí misma* un gran complejo de memes», escribió Dennett en *La conciencia explicada*, y el yo es una «ilusión benigna del usuario».

> Más relevantes que el tamaño serían los aspectos organizativos y operativos del cerebro que se consideran indicadores de la consciencia

Ese yo ilusorio, ese complejo de memes, es lo que llamo el «yoplejo». La ilusión de ser un poderoso yo provisto de consciencia y libre albedrío podría no resultar tan benigna. Nuestras singulares dotes para el lenguaje, la memoria autobiográfica y la falsa sensación de ser un yo continuo agudizarían paradójicamente nuestro sufrimiento. Tal vez otras especies sientan dolor, pero no lo empeorarán gritando: «¿cuánto durará?, ¿irá a peor?, ¿por qué a mí?, ¿por qué ahora?». En este sentido, nuestro sufrimiento podría ser único. Para los ilusionistas como yo misma, la respuesta a nuestra pregunta es simple y obvia: el ser humano es único porque solo él es lo bastante inteligente como para creer que hay un «yo» consciente. IyC

PARA SABER MÁS

The character of consciousness. David J. Chalmers. Oxford University Press, 2010.
Consciousness and the brain: Deciphering how the brain codes our thoughts. Stanislas Dehaene. Viking, 2014.
From bacteria to bach and back: The evolution of minds. Daniel C. Dennett. W. W. Norton, 2017.
Consciousness: An introduction. Tercera edición. Susan Blackmore y Emily T. Troscianko. Routledge, 2018.

EN NUESTRO ARCHIVO

El problema de la consciencia. Francis H. C. Crick y C. Koch en *IyC*, noviembre de 1992.
En busca de la consciencia. VV.AA. Colección *Cuadernos de MyC* n.º 13, 2016.
¿Es mensurable la consciencia? Christof Koch en *IyC*, enero de 2018.
¿Qué es la consciencia? Christof Koch en *IyC*, agosto de 2018.



PARTE 1

¿Por qué nosotros?

LO QUE HACE INEQUÍVOCAMENTE HUMANO AL LENGUAJE

HABLAR A TRAVÉS DEL TIEMPO

CHRISTINE KENNEALLY :: *ILUSTRACIÓN DE VICTOR NGAI*

Los delfines se nombran unos a otros, y chasquean y silban sobre sus vidas o sobre el peligro que entrañan los tiburones o las personas. También se transmiten de madres a crías útiles fragmentos de conocimiento: cómo se caza, cómo se huye. Sin embargo, si tuvieran un lenguaje tal y como lo tenemos nosotros, añadirían esos fragmentos informativos a un amplio repertorio de conocimientos sobre el mundo. En varias generaciones desarrollarían formas inteligentes de proceder, conocimientos complejos y técnicas basadas en varios componentes. Los delfines tendrían una historia, y con ella aprenderían sobre los viajes y las ideas de distintos grupos de delfines, y un individuo podría heredar un fragmento de lenguaje, un poema quizá, de otro de cientos de años antes. A ese delfín le habría afectado, a través del lenguaje, la sabiduría de otro, desaparecido haría ya mucho.

Solo las personas viajan así por el tiempo, al igual que solo ellas llegan a la estratosfera o se hacen preguntas como esta: ¿por qué el lenguaje es exclusivo de los seres humanos? No hemos encontrado una buena respuesta. Pero ahora abordan la cuestión neurocientíficos, lingüistas, genetistas y zoólogos.

EN SÍNTESIS

La comunicación humana está mucho más estructurada que los gestos y sonidos de otros animales.

Sin embargo, la ciencia no ha encontrado rasgos fisiológicos, neurológicos o genéticos que expliquen la singularidad del lenguaje humano.

El lenguaje parece surgir de una base de facultades, algunas compartidas con otros animales.

La complejidad del lenguaje humano podría surgir de la cultura: de la repetida transmisión del habla a través de muchas generaciones.

UNA PREGUNTA SIN RESPUESTA

Se supone que el lenguaje es solo humano, pero tratar de averiguar exactamente el porqué y el cómo siempre ha sido tabú. En la década de 1860, la Sociedad de Lingüística de París prohibió debatir sobre la evolución del lenguaje, y la Sociedad Filológica de Londres hizo lo mismo en la siguiente. Puede que trataran de poner freno a especulaciones no científicas o quizá fuese un acto político; durante siglos, el tema siguió molestando. Noam Chomsky, el influyente lingüista del Instituto de Tecnología de Massachusetts, no sintió durante muchos años interés por la evolución del lenguaje, por lo que su actitud enfrió la cuestión. Cuando, a comienzos de los años noventa, atendía a una clase de lingüística, le pregunté al profesor cómo había evolucionado el lenguaje. La lingüística no se hacía esa pregunta, me dijo, ya que no era posible contestarla.

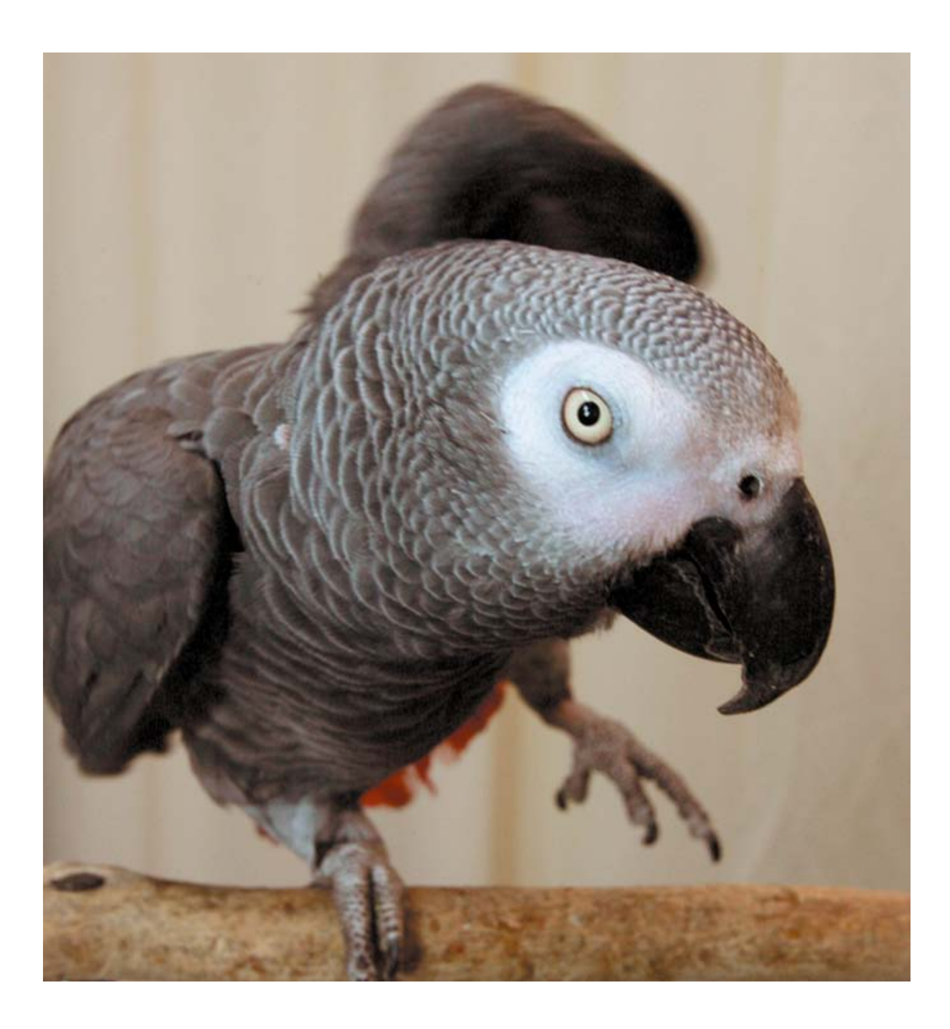
Afortunadamente, solo unos años después, investigadores de diferentes disciplinas empezaron a abordarla a fondo. Desenterraron una desconcertante paradoja. El lenguaje es explícito, claro y exclusivamente humano. Consiste en unos complicadísimos conjuntos interrelacionados de reglas con las que se combinan sonidos y palabras que generan significado. Si otros animales tuvieran un sistema igual, probablemente lo reconoceríamos. El problema es que, tras buscar durante un buen tiempo y con una amplia variedad de enfoques, no parece que podamos encontrar nada único en nosotros mismos —ya sea en el genoma humano o en el cerebro humano— que pueda explicar el lenguaje.

Es cierto que hemos hallado características biológicas exclusivas de los humanos y que son importantes para el lenguaje. Somos, por ejemplo, los únicos primates que pueden controlar la laringe: nos pone en riesgo de ahogarnos, pero nos permite articular el habla. Sin embargo, el equipamiento que parece estar diseñado para el lenguaje nunca termina de explicar la enorme complejidad y utilidad de este.

Parece, cada vez más, que la paradoja no es inherente al propio lenguaje, sino a cómo lo observamos. Durante mucho tiempo hemos estado subyugados por la idea de una repentina transformación que convirtió a unos simples primates en lo que hoy somos. Esta idea de metamorfosis ha ido de la mano de otras que también invocan hechos singulares: que el lenguaje es un atributo enteramente separado, que tiene poco en común con otras formas de actividad mental, que es la adaptación evolutiva que lo cambió todo, que está impreso en el ADN humano. Hemos estado buscando un evento biológico específico que hace cerca de 50.000 años trajera al mundo la existencia de nuestro complejo lenguaje.

Ahora, los hallazgos de algunos genetistas, científicos cognitivos y neurocientíficos convergen en otra parte. Parece que el lenguaje no es una brillante adap-

ALEX, un célebre papagayo gris africano, puede reconocer y nombrar unos cien objetos diferentes junto con su color, textura y forma; además, comunica sus deseos e intenciones con frases como «quiero volver». A los chimpancés también se les puede enseñar a usar elementos del lenguaje humano.



GETTY IMAGES

tación. Tampoco parece estar codificado en el genoma humano ni es el inevitable resultado de nuestros superiores cerebros. Al contrario: se desarrolla a partir de una base de capacidades, algunas muy antiguas y compartidas con otros animales, y otras pocas más modernas.

HABLAR CON ANIMALES

La investigación con animales fue la primera en desafiar la definición del lenguaje como un atributo humano, separado de los de otras especies. Según la experta en psicología comparada Heidi Lyn, para determinar cuál es la singularidad del lenguaje humano hay que explorar las capacidades de otros animales. Casi cada vez que los investigadores han sugerido que los humanos son capaces, gracias al lenguaje, de hacer algo que a los animales no les es posible, se ha visto que algunos animales sí pueden hacerlo, al menos en ciertas ocasiones.

Consideremos los gestos. Algunos son individuales, pero otros están generalizados dentro de una comunidad lingüística e incluso entre todos los seres humanos. Está claro que el lenguaje evolucionó como parte de un sistema de comunicación en el que los gestos desempeñaban un papel. Pero algunos trabajos han demostrado que los chimpancés también gesticulan de una manera que aporta significado. Michael Tomasello, emérito del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva de Leipzig, y sus colaboradores han mostrado que todas las especies de grandes primates esperan para gesticular a contar con la atención de otro simio, y que repiten los gestos cuando no reciben la respuesta que buscan. Los chimpancés dan palmadas o golpes en el suelo para llamar la atención. Y, del mismo modo que una persona levanta el puño de forma beligerante, ellos alzan los brazos sobre la cabeza (normalmente antes de un ataque) como señal de aviso a un rival.

Aun así, el laboratorio de Tomasello descubrió que a los simios les costaba mucho comprender los gestos con los que señalamos algo, como la ubicación de un objeto escondido. ¿Podría significar que señalar una dirección —o más bien la capacidad de comprenderlo completamente— fuera un paso decisivo en la evolución del lenguaje? A Lyn, que trabajaba con bonobos que ahora están en la Iniciativa de Cognición y Conservación de Simios, esa afirmación le parecía absurda. «Cuando señalaba diferentes cosas, mis simios lo comprendían siempre», dice. Pero cuando realizó experimentos con chimpancés en el Centro Nacional Yerkes de Investigación sobre Primates, de la Universidad Emory, se sorprendió al ver que no comprendían nada bien sus señalamientos. Entonces volvió a los bonobos de su laboratorio y los puso a prueba. Allí todos la comprendieron.

Concluyó que la diferencia no tenía nada que ver con la biología. A los bonobos se les había enseñado a comunicarse con los humanos mediante unos símbolos visuales simples, mientras que a los chimpancés nadie les había enseñado. «Son los simios que no han tenido ese tipo de contacto con los humanos los que no comprenden los señalamientos», explica.

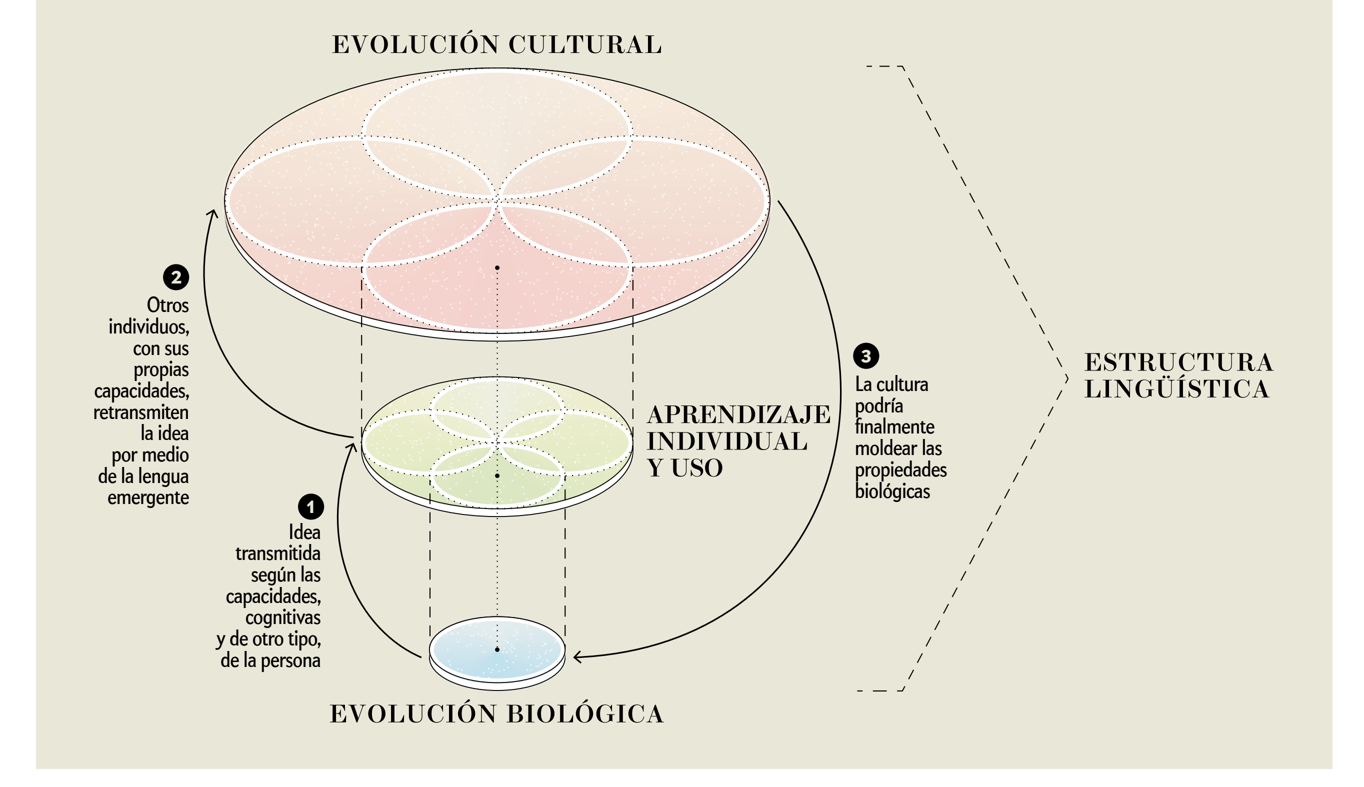
Según Lyn, se han desestimado las capacidades de los bonobos porque fueron enseñados por personas. Y se han desdeñado otras investigaciones sobre el lenguaje efectuadas con papagayos, delfines y otros animales por la misma razón. Pero defiende que los animales adiestrados por personas aportan un conocimiento muy valioso. Si criaturas con diferentes cerebros y diferentes cuerpos aprenden destrezas comunicativas de tipo humano, es que el lenguaje no debería definirse como algo exclusivamente humano o sin conexión con el mundo animal. Además, si bien el lenguaje podría estar afectado por la biología, no tiene por qué quedar determinado por ella. Con los



Christine Kenneally es una premiada periodista científica y autora de *La primera palabra: La búsqueda de los orígenes del lenguaje* (Alianza Editorial, 2009).

La evolución del lenguaje

Los idiomas tienen estructuras complejas que nos permiten inferir el significado de cosas como «jirafa azul» aunque nunca antes hayamos visto esa combinación de palabras. Simon Kirby, de la Universidad de Edimburgo, y otros lingüistas sugieren que la estructura del lenguaje deriva del uso repetido de palabras para transmitir ideas a través de muchas generaciones. En un proceso circular repetido innumerables veces, un hablante transmite un concepto a otros ❶ a través de cualquier cadena de palabras que haya aprendido. La capacidad de transmitir una idea depende de las capacidades cognitivas heredadas de los padres. Los receptores de ese enunciado lo comprenden lo mejor que pueden y lo transmiten a otros ❷ junto con sus propias modificaciones. Esos cambios se acumulan durante generaciones. Cabe suponer que quien mejor domine el discurso emergente de la comunidad tendrá más probabilidades de pasar sus genes, por lo que el refinamiento cultural acumulado podría influir en las propiedades biológicas ❸. Con el tiempo, en esta babel surge el orden cuando los hablantes, al tratar de aprender la lengua, convergen en un idioma único y estructurado, que puede aprenderse y que resulta útil para transmitir información. El lenguaje, con toda su complejidad, emerge de la cultura.



FUENTE: «CULTURE AND BIOLOGY IN THE ORIGINS OF LINGUISTIC STRUCTURE», DE SIMON KIRBY, EN *PSYCHONOMIC BULLETIN & REVIEW*, VOL. 24, N.° 1; FEBRERO DE 2017; FEDERICA FRAGAPANE (*gráfico*)

bonobos fue la cultura, no la biología, la que marcó la diferencia fundamental.

GENÉTICA

La lista de capacidades de la que se pensaba que eran parte exclusiva del lenguaje humano es bastante larga. Incluye las palabras. Los monos vervet usan alarmas que se asemejan a palabras para señalar un tipo específico de peligro. Otro aspecto crucial es la estructura. Como contamos con una sintaxis, podemos producir un número infinito de frases y significados nuevos y comprender frases que nunca habíamos oído. Sin embargo, los cantos del diamante cebra (un ave) presentan una complicada estructura, los delfines comprenden diferencias en el orden de las palabras y algunos monos salvajes incluso parecen usar un tipo de llamada para modificar otra. La lista se extiende a tipos de cognición como la teoría de la mente (la capacidad de inferir los estados mentales de otros). Los delfines y los chimpancés son excelentes en adivinar qué es lo que quiere su interlocutor. Ni siquiera la aparentemente exclusiva capacidad de pensar en números lo es de verdad: las abejas comprenden el concepto de cero, las abejas y los macacos rhesus saben contar hasta cuatro, y los cormoranes utilizados en China para pescar cuentan supuestamente hasta siete.

La lista también incluye los genes. El famoso *FOXP2*, en su día llamado el gen del lenguaje, afecta, de hecho, al lenguaje —cuando muta, altera la articulación—, pero desempeña también otros roles. No existe un modo fácil de separar los diferentes efectos. Los genes son fundamentales para comprender cómo evolucionó el lenguaje, dice Simon Fisher, genetista del Instituto Max Planck de Psicolingüística de Nimega, pero tenemos que pensar en qué hacen los genes. Para resumir un proceso complejísimo: los genes codifican proteínas; estas intervienen en las células, que, si son cerebrales, forman circuitos neuronales, los cuales son responsables del compor-

tamiento. «Puede que exista una red de genes que sean importantes para el procesamiento sintáctico o para hablar correctamente,» explica Fisher, «pero no hay un único gen que pueda programar de forma mágica un paquete de capacidades».

La lista de atributos «ya no solo humanos» también incluye mecanismos cerebrales. Los circuitos neuronales pueden desarrollar múltiples usos. Un estudio reciente ha mostrado que algunos de los circuitos neuronales que subyacen al aprendizaje de una lengua podrían usarse también para recordar listas o adquirir habilidades complicadas, como aprender a conducir. Las versiones en los animales de los mismos circuitos se usan para solucionar problemas similares, como el que supone para una rata moverse por un laberinto.

Michael Arbib, neurocientífico cognitivo de la Universidad de California en San Diego, explica que un niño, tanto si nace en un mundo con trenes de vapor como en uno con teléfonos inteligentes, dominará una parte de ese mundo sin alteraciones de su biología. «Por lo que sabemos», dice Arbib, «el único tipo de cerebro en el mundo capaz de hacer esto es el cerebro humano». Sin embargo, el cerebro es solo una de las partes de un complejo sistema que incluye el cuerpo. «Si los delfines tuvieran manos, quizá podrían haber desarrollado ese mundo.»

Darle sentido al mundo humano requiere no solo un cerebro, sino un grupo de cerebros interactuando como parte del mundo social humano. Arbib llama a esto evo-devo-socio («evo-devo» es la abreviatura de biología evolutiva del desarrollo). La evolución biológica influye en el desarrollo y en el aprendizaje de los individuos. El aprendizaje individual da forma a la evolución de la cultura y, a su vez, puede ser moldeado por esta. Para comprender el lenguaje, hay que considerar el cerebro humano como una parte de esos sistemas. Según Arbib, la evolución del lenguaje fue multicausal. No se activó un único conmutador: hubo muchos. Y no sucedió de una vez, sino que llevó mucho tiempo.

LA REVOLUCIÓN CULTURAL

La cultura también desempeña un papel fundamental para Simon Kirby, científico cognitivo que dirige el Centro de Evolución del Lenguaje de la Universidad de Edimburgo. Le fascinaba la idea de que el lenguaje no solo sea algo que aprendemos de los demás, sino que se transmite a través de generaciones de aprendices. El repetido acto de aprenderlo, ¿qué efecto tuvo en el lenguaje mismo?

Para averiguarlo, Kirby concibió un método para explorar la evolución del lenguaje. En vez de observar a animales o a personas, programó modelos digitales de los hablantes («agentes») y los alimentó con cadenas aleatorias y desordenadas de lenguaje. Sus agentes artificiales aprendían el lenguaje de otros agentes para, acto seguido, enseñárselo también a los demás. Entonces Kirby hizo que se sucediesen las generaciones de aprendices y maestros para ver cómo cambiaba el lenguaje. Lo compara con el juego del teléfono estropeado, en el que un mensaje es transmitido de una persona a otra hasta que acaba convertido en algo muy diferente del original.

Kirby observó que sus agentes tendían a crear más estructura que la que habían recibido. A pesar de que las cadenas de lenguaje que les dio eran aleatorias, por casualidad alguna estaba un poco ordenada. Lo crucial es que los agentes adoptaban esa estructura y la generalizaban. «Los aprendices, por así decirlo, veían la alucinación de una estructura en los datos que recibían», dice. Los agentes, habiendo visto una estructura donde no la había, reproducían más estructura en lo que decían.

Los cambios eran muy pequeños, señala, pero con el paso de las generaciones el proceso no para de crecer. Tras varias generaciones, el lenguaje de los agentes no solo parecía más estructurado, sino que la estructura resultante se parecía a una versión básica de nuestro lenguaje natural. Probó una variedad de modelos diferentes y les dio distintos tipos de datos, pero descubrió que el aumento acumulativo de la estructura lingüística se daba con independencia de cómo se construyesen los modelos. El proceso de aprender una y otra vez creaba el lenguaje.

Ahora Kirby está recreando sus experimentos digitales en la vida real con personas e incluso con animales. Está observando que, efectivamente, la estructura se desarrolla con las repeticiones. Eso ayudaría a explicar por qué no se puede encontrar un único gen, mutación o circuito neuronal que explique el lenguaje. Este parece emerger de una combinación de biología, aprendizaje individual y transmisión de un individuo a otro. Los tres sistemas actúan en escalas de tiempo completamente distintas; pero, cuando se interconectan, sucede algo extraordinario: nace el lenguaje.

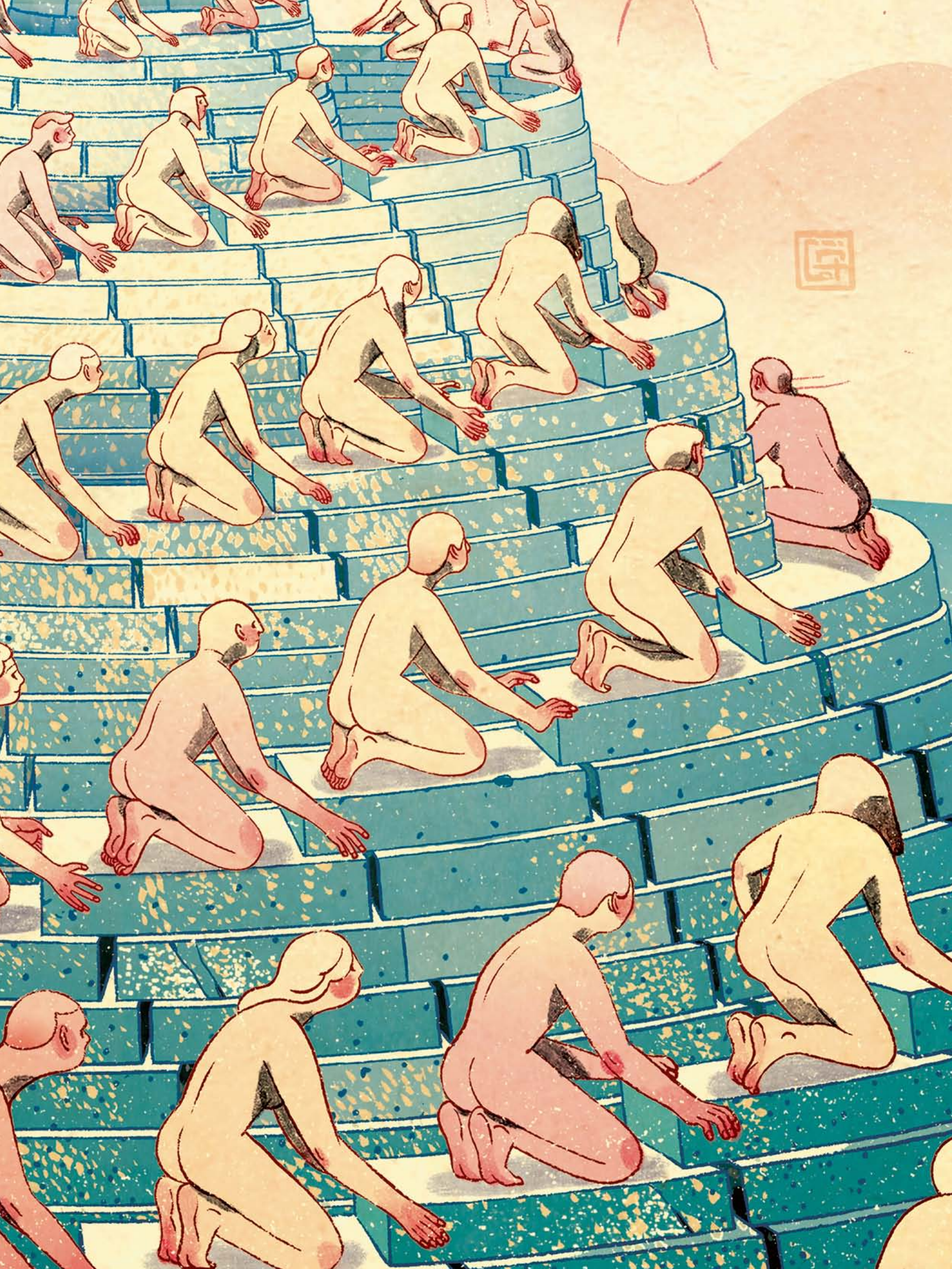
Puede que, en el poco tiempo que los investigadores llevan estudiando la evolución del lenguaje, no hayan encontrado aún su santo grial: un evento definitivo capaz de explicar el lenguaje. Pero lo aprendido hasta ahora parece tornar irrelevante esa cuestión. El lenguaje probablemente sea uno de los rasgos biológicos más excepcionales de este planeta, pero ha demostrado ser mucho más frágil, accidental y contingente de lo que nunca nadie había predicho. IyC

PARA SABER MÁS

The first word: The search for the origins of language. Christine Kenneally. Viking, 2007.
How the brain got language: The mirror system hypothesis. Michael A . Arbib. Oxford University Press, 2012.
Culture and biology in the origins of linguistic structure. Simon Kirby en *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 24, n.° 1, págs. 118-137, febrero de 2017.
The question of capacity: Why enculturated and trained animals have much to tell us about the evolution of language. Heidi Lyn en *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 24, n.° 1, págs. 85-90, febrero de 2017.

EN NUESTRO ARCHIVO

Evolución del lenguaje. Jan Dönges en *MyC* n.° 40, 2010.
Lenguaje, redes y evolución. Ricard V. Solé, Bernat Murtra Corominas y Jordi Fortuny en *IyC*, mayo de 2013.
Hacia una nueva visión del lenguaje. Paul Ibbotson y Michael Tomasello en *IyC*, enero de 2017.



LAS VENTAJAS DE CRECER Y MADURAR DESPACIO

PARTE 1

¿Por qué nosotros?

HOMO INFANS

ANA MATEOS CACHORRO :: *ILUSTRACIÓN DE VICTO NGAI*

A TODOS NOS ASOMBRA VER LO INDEFENSOS Y DESVALIDOS QUE NACEN LOS bebés humanos en comparación con las crías de otros mamíferos. Si, además, reparamos en el hecho de que *Homo sapiens* es una de las especies con mayor éxito evolutivo, esta característica puede llegar a extrañarnos aún más. La sorpresa es mayúscula cuando observamos el nacimiento y las primeras horas y días de un chimpancé, uno de nuestros parientes evolutivos vivos más cercanos: sus crías enseguida pueden sostener la cabeza y su frágil cuerpo e incluso agarrarse al pelo de la madre para ser amamantadas y transportadas. El bebé humano, por el contrario, solo es capaz de emitir un suave balbuceo y un llanto ruidoso para pedir alimento o reclamar la cercanía y el calor de su madre. En esto consiste nuestra lucha por la supervivencia en los primeros días de vida.

EN SÍNTESIS

Los bebés y los niños humanos son los más indefensos de todas las crías de primates. Maduran muy despacio y dependen de forma extrema de sus progenitores durante más años que ninguna otra especie.

Como consecuencia de esa lentitud en el desarrollo, las crías humanas son muy costosas de sacar adelante. ¿Por qué la evolución no se deshizo de esa dependencia?

La niñez y quizá la adolescencia son etapas del crecimiento exclusivamente humanas. Sin embargo, han aportado grandes ventajas a nuestra especie. Entre ellas, la adquisición de un cerebro voluminoso, una cognición compleja y el fomento de la cooperación.

Al mismo tiempo, la fisiología del recién nacido ha de hacer frente a todo tipo de ajustes metabólicos. Fuera del cómodo útero materno hemos de adaptarnos de forma semiautónoma a nuevas exigencias, como mantener estable nuestra temperatura corporal, respirar, abrir los ojos y oídos a nuevos estímulos, aprender a succionar del pecho de nuestra madre como forma de alimentación, etcétera. A ello se suma el gran tamaño del cerebro humano al nacer, lo que supone un enorme desafío para la maquinaria fisiológica. El cuerpo y el encéfalo deben seguir creciendo a una velocidad similar a la que lo hacían en el útero materno (un fenómeno conocido como gestación extrauterina, o exterogestación), pero dedicando una buena parte del presupuesto energético a realizar las funciones vitales sin la ayuda de la madre y de su magnífico cordón umbilical.

Todas estas características que describen al ser humano recién nacido constituyen lo que, científicamente, se ha denominado altricialidad secundaria. En general, y según su grado de maduración al nacer, las especies pueden clasificarse en precociales y altriciales. Las primeras exhiben desde el principio algunas capacidades cognitivas y neuromotoras básicas, mientras que las segundas no. Sin embargo, *Homo sapiens* es especialmente poco precoz en su desarrollo, razón por la que nuestra altricialidad ha sido calificada de «secundaria». Los humanos necesitamos durante más años que ninguna otra especie el cuidado, el contacto y la protección de nuestros cuidadores para llegar a convertirnos en individuos adultos.

No obstante, y aunque a primera vista pueda parecer paradójico, es en esa vulnerabilidad extrema y en ese largo período de maduración donde se encuentran varias de las claves de nuestro éxito como especie. Tales ventajas incluyen el desarrollo de un cerebro voluminoso, su enorme plasticidad y complejidad cognitiva, así como el fomento de algunas de las dinámicas cooperativas tan características de nuestra especie.

BEBÉS INMADUROS

La vulnerabilidad de las especies altriciales, como la nuestra, está marcada fundamentalmente por el grado de maduración del cerebro al nacer. Aunque llegamos al mundo con un cerebro de gran tamaño, activo e interconectado, no es menos cierto que este se encuentra también muy poco desarrollado. ¿A qué se debe esta particularidad de *Homo sapiens*?

Se ha estimado que, si tuviésemos que nacer con el mismo grado de desarrollo que una cría de chimpancé, probablemente deberíamos permanecer durante bastante más tiempo en el útero, con una gestación de entre 18 y 21 meses. Según la hipótesis del dilema obstétrico, prevaleciente durante años, algo así sería impensable para nuestro tamaño cerebral y corporal, ya que el parto sería inviable para la madre debido a lo mucho que ya se ajusta la cabeza del bebé al canal del parto [*véase* «El difícil trance del parto humano», por Pat Shipman; Investigación y Ciencia, mayo de 2014].

Al respecto, una hipótesis alternativa es la planteada por la investigadora de la Universidad de Rhode Island Holly Dunsworth y sus colaboradores, quienes en 2012 propusieron que el factor que realmente condiciona la duración de la gestación humana es la exigencia metabólica que supone para la madre el último trimestre de embarazo. El cerebro del feto crece entonces con gran rapidez, lo que implica un gasto energético para la madre que puede llegar a duplicar o incluso triplicar su tasa metabólica basal (el gasto mínimo que necesitamos para llevar a cabo todas nuestras funciones vitales básicas, como respirar, mantener la temperatura o impulsar el bombeo del corazón). Por tanto, una vez que esa exigencia energética no puede satisfacerse más, sobrevendría el parto.

Sea cual fuere la causa, ese grado extremo de inmadurez al nacer es lo que, en buena parte, condiciona que los humanos necesitemos durante más años que ninguna otra especie el acompañamiento de nuestros cuidadores durante las etapas iniciales

de la vida. Por otro lado, cabe pensar que nuestro pausado ritmo de maduración tendrá alguna ventaja adaptativa, ya que, si no fuera así, la evolución se habría encargado de deshacerse de ello.

LA NIÑEZ, UNA ETAPA ÚNICA

A lo largo de la evolución humana, el tamaño y las proporciones corporales y cerebrales, los ritmos de desarrollo y las pautas de crecimiento han ido cambiando entre las diversas especies del linaje *Homo* hasta alcanzar su configuración actual en *Homo sapiens*. En ella, la historia biológica del individuo se compone de cinco períodos diferenciados: infancia, niñez, juventud, adolescencia y fase adulta (la cual podría contener, además, una etapa posreproductiva de senescencia). Dicho patrón difiere en varios aspectos del de otros primates cercanos, como chimpancés, gorilas y orangutanes.

La infancia humana comienza en el momento del nacimiento y concluye con el destete definitivo, que tradicionalmente —así como en algunas sociedades de cazadores-recolectores actuales— ha tenido lugar en torno a los tres años de edad. Durante este período nos alimentamos en gran parte de leche materna, los dientes deciduos («de leche») van emergiendo y comenzamos a desarrollar un gran número de capacidades neuromotoras. Tanto el cuerpo como el cerebro crecen con gran rapidez; es en estos años cuando se cierra la fontanela anterior y se fusionan las suturas craneales, si bien alguna, como la metópica, puede llegar a cerrarse sobre los cuatro años de edad. Las crías de chimpancé, por su parte, aunque nacen más maduras, permanecen también al lado de la madre durante varios años. Su infancia se prolonga hasta los cinco años de edad. Durante ese período, las madres ofrecen a sus retoños lactancia a demanda, al tiempo que los inician en el aprendizaje de la alimentación complementaria y en las habilidades sociales de la vida en comunidad. También los cargan encima hasta el destete definitivo, que puede continuar hasta algo más allá de los seis años.

En los humanos, la niñez es la etapa comprendida entre los tres y los siete años de edad. Aunque la lactancia ya se ha dejado atrás, en esta fase el niño aún depende de otros individuos adultos para protegerse y alimentarse, debido a la inmadurez de su tracto digestivo y a su dentición decidua. Esta etapa se caracteriza por un crecimiento corporal moderado, el cual contrasta con una elevada tasa de desarrollo cerebral: hacia los siete años, el encéfalo del niño casi habrá alcanzado su peso adulto. La niñez se ha identificado como una fase exclusivamente humana, no presente en otros primates. En los chimpancés, el fin de la infancia tiene lugar algo más tarde que en los humanos, hacia los cinco años, pero de ahí los individuos pasan directamente a la etapa prepuberal, o de juventud.

Por juventud entendemos en este contexto la etapa de transición hacia la pubertad, en la que el individuo ya no depende por completo de los adultos para alimentarse. En nuestra especie comienza sobre los siete años de edad y termina en torno a los diez en las chicas y los doce en los chicos. En ella los ritmos de crecimiento corporal y cerebral se ralentizan de manera considerable, ya que los individuos experimentan una importante transición cognitiva que les permitirá aprender habilidades sociales fundamentales para la supervivencia. Esta fase prepuberal sí se ha identificado en otros primates. Los chimpancés juveniles son individuos de entre cinco y diez años, que ya alcanzan la mitad del tamaño corporal de un adulto y cuyo cerebro casi ha adquirido su tamaño final. Al igual que los prepúberes humanos, los chimpancés juveniles se desenvuelven solos y no son acarreados ni alimentados por la madre, aunque siguen en constante contacto con ella, en un estrecho vínculo afectivo.

ADOLESCENCIA: CEREBRO Y MENTE

Si continuamos la ruta hacia la madurez llegamos a la adolescencia, una fase que puede representar casi un tercio de nuestro desarrollo. Esta etapa constituye uno de los períodos clave en la historia biológica de nuestra especie. Lo que ocurre en ella transciende con mucho la extravagancia de algunas conductas y el baile hormonal al que se ven sometidos los adolescentes.

En primer lugar, conviene distinguir entre pubertad y adolescencia, dos conceptos que solemos confundir. La pubertad es un proceso fisiológico en el que tiene lugar el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, así como la maduración completa de las gónadas y las glándulas suprarrenales. En esta fase se alcanza también la talla adulta mediante una aceleración del crecimiento, y en ella se suceden importantes cambios en las proporciones y distribución de masa ósea, tejido graso y muscular. La adolescencia, por el contrario, hace referencia a un proceso más amplio que no solo incluye intensos cambios físicos, sino también psicológicos, emocionales y sociales.

En los últimos cien años, los estudios epidemiológicos han registrado una tendencia de crecimiento y desarrollo que apunta a que la pubertad se ha venido iniciando a edades cada vez más tempranas, debido en gran parte a factores ambientales y sociales, como una mejora en las condiciones de vida y de alimentación en numerosas poblaciones humanas. En todo caso, y con independencia de estas variaciones en cuanto a su inicio, en términos generales podemos decir que la adolescencia comienza con la pubertad, marcada por algunos signos de madurez sexual, como la aparición del vello púbico y otros cambios sexuales llamativos. En las chicas este período comienza en torno a los 10 años de edad y finaliza sobre los 18. En los chicos suele iniciarse unos dos años más tarde, sobre los 12, y la madurez definitiva no se alcanzará hasta los 20 o los 21.

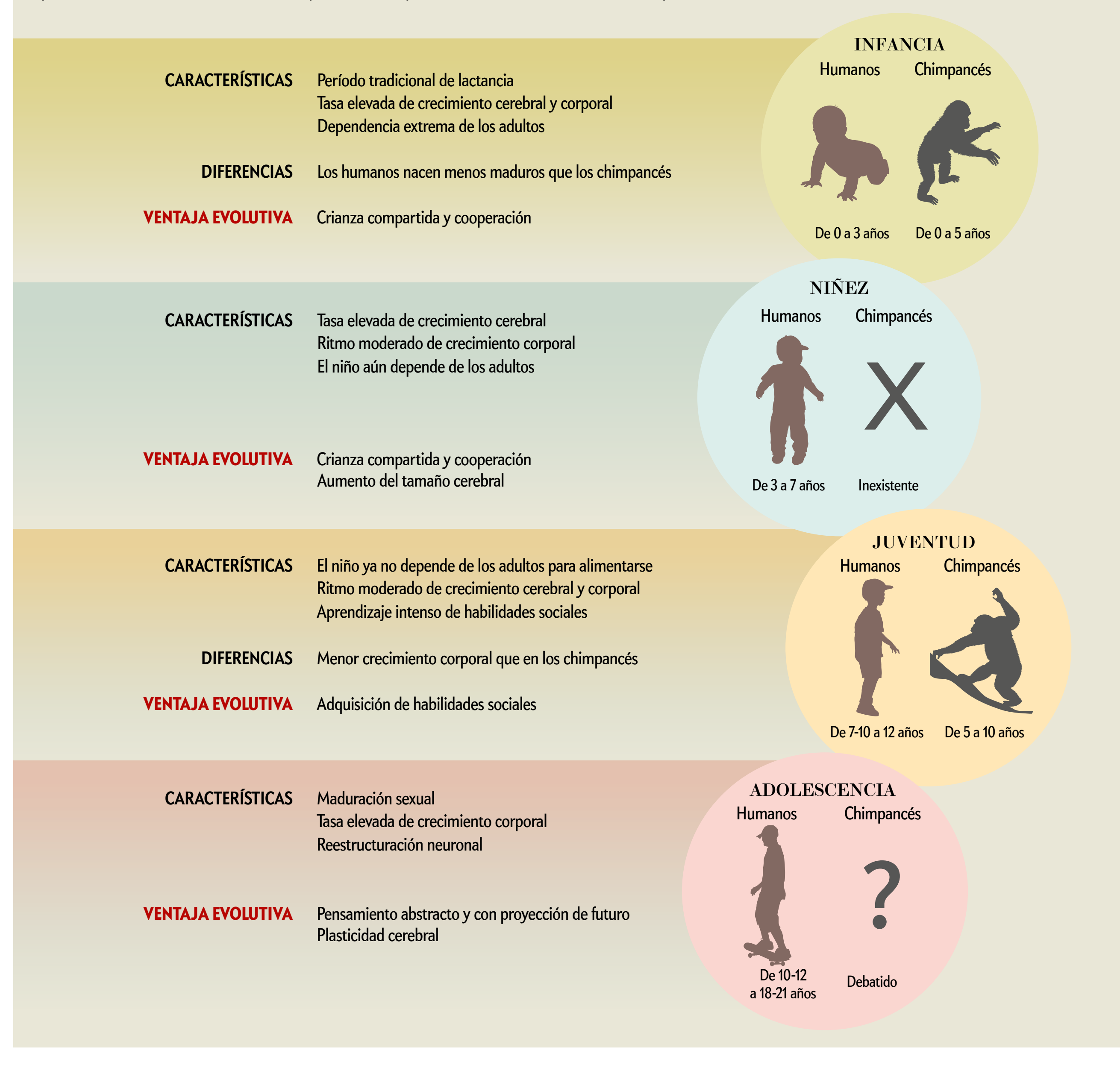
Durante esos años se desarrollan los caracteres sexuales secundarios y los órganos reproductores, se completa la dentición permanente, tiene lugar un enorme crecimiento en peso y en altura y aparecen casi completamente definidos algunos comportamientos sociosexuales adultos. Por lo que respecta al crecimiento somático, en esta fase la talla aumenta un promedio de unos 30 o 50 centímetros en ambos sexos, mientras que la masa corporal lo hace en unos



Ana Mateos Cachorro es responsable del Grupo de Paleofisiología y Ecología Humana del Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, en Burgos.

Sin prisa pero sin pausa

Hasta alcanzar la madurez, el desarrollo humano puede dividirse en cuatro fases: infancia, niñez, juventud y adolescencia. La niñez constituye una etapa exclusivamente humana, no observada en otros primates. Por su parte, la existencia de una fase adolescente en otras especies constituye objeto de debate: aunque otros primates sí experimentan una etapa de pubertad y desarrollo sexual, no queda claro que vaya acompañada de los mismos procesos psicológicos y de reestructuración cerebral que experimentan los humanos. El siguiente esquema muestra las características principales de cada fase, las diferencias entre humanos y chimpancés, y las ventajas evolutivas que cada etapa habría conferido a nuestra especie.



30 kilogramos. Las proporciones corporales cambian: se alargan las piernas y los brazos, y las fracciones de grasa y músculo experimentan grandes ajustes regulados por los cambios hormonales. Un aspecto clave es que todas estas modificaciones somáticas se van adaptando a una nueva cartografía neuronal: aunque al principio de la adolescencia el cerebro ya alcanza su tamaño máximo, la reestructuración neuronal aún continuará hasta la veintena y, en ocasiones, hasta la treintena.

El cerebro adolescente no madura debido a un incremento de tamaño, sino porque sus componentes han de interconectarse de una manera más eficiente para hacer frente a las nuevas demandas de rendimiento cognitivo. Durante la adolescencia se van equilibrando algunas funciones que culminarán con la maduración definitiva y con el desarrollo completo de la corteza prefrontal, la región de nuestro cerebro relacionada con los procesos cognitivos complejos. Los adolescentes pasan así del pensamiento

concreto al abstracto y con proyección de futuro, y adquieren o mejoran sus facultades de planificación, razonamiento y control de impulsos. El desarrollo de estas capacidades cognitivas complejas tiene importantes implicaciones para la supervivencia no solo del individuo, sino de toda la especie.

En los últimos años, los avances en neurología y psicología han demostrado que es imprescindible que el cerebro atraviese una tormenta de inestabilidad para llegar a interconectarse como el de un adulto. Tal y como han sugerido algunos investigadores como Jay N. Giedd, de la Universidad de California en San Diego y profesor en la Escuela Bloomberg de Salud Pública de la Johns Hopkins, la plasticidad y la versatilidad de las redes neurales de los adolescentes son necesarias para nuestro desarrollo como individuos, al tiempo que han otorgado ventajas adaptativas a nuestra especie.

No es menos cierto que esa misma plasticidad puede acarrear inconvenientes, ya que el adolescente se torna más propenso a experimentar ciertos riesgos y más vulnerable a algunos trastornos mentales, como depresión, psicosis, anorexia, bulimia, ansiedad, bipolaridad, etcétera. Con todo, esta fase representa también el período de nuestra vida en el que gozamos de mayor salud, fortaleza e integridad en el sistema inmunitario, factores clave para afrontar la etapa adulta con mayores facultades funcionales y, sobre todo, para la vida reproductiva. Los adolescentes experimentan un fuerte impulso de independizarse de sus progenitores, lo que en ocasiones les lleva a comportamientos temerarios. Ese deseo de independencia forma parte de un cambio biológico que tiene lugar en el cerebro de todos los animales, no solo los humanos. Sin embargo, en los mamíferos de crecimiento rápido, como los roedores, ocurre en apenas una treintena de días. En el caso de *Homo sapiens*, en cambio, el mismo proceso puede llegar a suponer entre una y dos décadas.

UN CRECIMIENTO COORDINADO

En lo que respecta a nuestros parientes evolutivos vivos más cercanos, los chimpancés, podemos preguntarnos qué sucede con los individuos juveniles en su paso hacia la madurez completa. La existencia de una etapa adolescente en esta especie no está aceptada de modo universal. Si bien los primatólogos llevan décadas hablando de ella basándose en indicios biológicos y conductuales, otros investigadores de la biología humana e incluso de la paleoantropología se resisten a reconocer esta fase en otros primates no humanos. Ello se debe a que, aunque en estos sí se observa una fase de pubertad y de maduración sexual, no es posible asegurar que esta venga acompañada de los profundos cambios psicológicos, cognitivos y de reestructuración cerebral que experimentan los adolescentes humanos.

La pubertad en los chimpancés de ambos sexos comienza en torno a los 10 años y termina sobre los 13 en las hembras y los 15 en los machos, con los primeros signos visuales de diferenciación en los caracteres sexuales secundarios en ambos sexos, y la menarquia y los primeros ciclos de estro (celo) en las hembras. Si bien es cierto que en esta etapa el peso corporal de los chimpancés experimenta un incremento notable, no ocurre así con la estatura, cuyo aumento resulta casi imperceptible. En los humanos, en cambio, la adolescencia queda marcada por un estirón tanto en peso como en altura, con un rápido crecimiento de prácticamente todos los tejidos corporales, a excepción del encefálico, que ya ha llegado a su tamaño máximo al inicio de la pubertad. De ahí que se acepte que el gran crecimiento corporal que experimentamos los humanos durante la pubertad sea bastante característico de nuestra especie.

En *Homo sapiens*, el crecimiento experimenta un pico de máxima velocidad que acontece entre los 12 y 13 años en las chicas y entre los 14 y 15 años en los chicos. El llamado estirón puberal en estatura supone entre un 20 y un 25 por ciento de la talla adulta definitiva. Al mismo tiempo, el aumento de peso durante ese mismo período puede llegar a suponer casi el 50 por ciento del peso ideal que alcanzará el adulto. Las chicas acumularán más grasa que los chicos, quienes harán acopio de mucho más tejido óseo y muscular. Ese tejido adiposo en las chicas servirá como «colchón metabólico» para afrontar la menarquia (la primera menstruación), los consecutivos ciclos menstruales y la nueva etapa reproductiva que da comienzo con la fertilidad.

Nuestra prolongada infancia ha impulsado cambios en la estructura sociobiológica de *Homo sapiens*

Es muy probable que dicho proceso tenga un sentido adaptativo. Las prolongadas etapas de desarrollo en *Homo sapiens* cobran significado cuando reparamos en el hecho de que el crecimiento del cerebro y el del resto del cuerpo se hallan, en general, íntimamente acompasados en su aceleración y desaceleración, desde el nacimiento hasta la madurez completa. El cerebro del feto toma ventaja al final del embarazo y, una vez fuera del útero, continúa creciendo a la misma velocidad a la que lo hacía durante la gestación. Durante la niñez, el cuerpo queda relegado a un segundo plano, desarrollándose con mayor lentitud y esperando su oportunidad. Ese momento le llega con la pubertad, cuando recupera velocidad para «ponerse al día» y acompañar a un gran cerebro que, en esta fase, va a experimentar importantísimos cambios de reestructuración e interconectividad.

Todo ese prolongado período de inmadurez hacia la edad adulta conlleva una fuerte inversión energética que es necesario ajustar en cada fase. Al esfuerzo metabólico que conllevan el crecimiento y el desarrollo ha de sumarse la energía que necesitamos diariamente para mantener todo el sistema en funcionamiento. Pero, en el caso de un infante, un niño o un

adolescente, el sistema requiere un extra de energía para sintetizar nuevos tejidos y para sostener la ganancia de peso. En la infancia y la niñez, la energía está concentrada en el crecimiento somático y en el mantenimiento de la elevada tasa de maduración cerebral, el aprendizaje de nuevas capacidades y el desarrollo del sistema inmunitario. Una vez en la pubertad, la energía debe invertirse en soportar la maduración reproductiva, los cambios en la estructura del cerebro y en las conexiones neuronales, y en afrontar con éxito el pico de crecimiento que representa el estirón puberal de estatura y peso.

En particular, durante todo ese largo camino, la energía deberá orientarse a poner a punto la función inmunitaria. Todos estamos expuestos a cientos de patógenos, pero los niños son blanco fácil, ya que su sistema inmunitario está haciendo todo tipo de ajustes. Si consideramos todos los entornos en los que hoy vive *Homo sapiens*, comprobaremos que nuestra especie ha colonizado numerosos ecosistemas, muchos de los cuales podrían parecernos inhabitables. La plasticidad y la adaptabilidad del ser humano son inmensas, pero eso también ha expuesto a nuestra especie a patógenos de toda condición. En el caso de los niños y los adolescentes, este hecho influye sobremanera en sus funciones metabólicas y en las estrategias que tiene que adoptar el cuerpo para optimizar la captación de la energía necesaria para sobrevivir y crecer.

LA GRAN VENTAJA DE *HOMO SAPIENS*

A pesar de que, biológicamente hablando, nuestro pausado ritmo de crecimiento y desarrollo podría parecer un lastre evolutivo, la realidad es que nos ha conferido varias ventajas adaptativas con respecto a otras especies de primates. Estas pueden resumirse en tres: la adquisición de un cerebro voluminoso, el desarrollo de una cognición compleja y el fomento de la cooperación.

En primer lugar, la prolongada duración de dos etapas clave, la niñez y la adolescencia, nos ha concedido el privilegio de disponer de más tiempo para ajustar nuestra maquinaria fisiológica a las demandas energéticas de nuestros grandes cuerpos y voluminosos cerebros en crecimiento. Si no hubiésemos contado con esa cadencia tan pausada en nuestro desarrollo, tal vez la evolución nunca habría seleccionado nuestra particular plasticidad adaptativa ni nos hubiese dado la oportunidad de adquirir un cerebro de gran tamaño.

El factor clave en este complejo entramado biológico de la ontogenia humana reside en la finura del engranaje que regula el crecimiento del cerebro y el del resto del cuerpo. Los ritmos de ambos procesos se encuentran finamente acompasados desde el nacimiento hasta la madurez completa, alternando fases de aceleración y de desaceleración cuando es preciso. Al respecto, cabe resaltar el papel clave que desempeña nuestra particular etapa de niñez, inexistente en otros primates. Esta fase permitió a las especies del género *Homo* ir aumentando su tamaño cerebral, a pesar de la fuerte inversión metabólica que esto supone, sin comprometer por ello la maduración del cuerpo. Los chimpancés, en cambio, dejan de ser infantes a los cinco años de edad para convertirse directamente en juveniles, en transición a la pubertad. Nuestro camino hacia la misma etapa es mucho más suave, lo que además nos permite mejorar en el aprendizaje de nuevas habilidades cognitivas y sociales.

Por otro lado, nuestra prolongada infancia y niñez ha impulsado cambios no solo en nuestro cerebro, sino también en nuestra estructura sociobiológica; en particular, en lo que respecta a los estilos de crianza. El hecho de que los niños humanos sean tan dependientes durante tanto tiempo fomentó un tipo de crianza en el que no solo la madre, sino también el padre y otros individuos cercanos debían cooperar entre sí para asegurar la supervivencia de la prole. Este estilo de crianza compartida hace frente a las peculiares características biológicas de los humanos, como el gran tamaño del neonato al nacer, el temprano final del destete y las altas tasas de nacimiento en comparación con otros grandes simios (chimpancés, bonobos, gorilas y orangutanes). Evolutivamente hablando, este factor resulta clave para la supervivencia de los individuos y para la demografía de *Homo sapiens*. Si no hubiésemos adaptado nuestros estilos de vida a nuestro pausado ritmo de crecimiento y desarrollo, lo más probable es que tuviésemos una menor tasa de fertilidad, ya que las crías humanas son enormemente costosas de sacar adelante.

Por último, y desde un punto de vista adaptativo, tal vez la adolescencia sea la etapa que mayores ventajas ha otorgado a nuestra especie. En ella hemos de ajustar nuestra fisiología y metabolismo para soportar la maduración reproductiva, afinar los cambios en la estructura del cerebro y afrontar el pico de crecimiento en estatura y peso. Mientras tanto, los adolescentes pretenden ser lo más autónomos e independientes posible, a pesar de sus comportamientos temerarios y extravagantes a los ojos de un adulto. Una vez finalizada esta etapa transitoria de enorme ajuste corporal, hormonal y marcada por la reestructuración del encéfalo, nos habremos convertido en adultos. Como tales, aún tendremos por delante un largo recorrido para mejorar como individuos y como especie. Y en nuestras manos estará aprovechar nuestra particular longevidad, otro rasgo que la evolución parece haber regalado a *Homo sapiens*. IyC

PARA SABER MÁS

The chimpanzees of Gombe: Patterns of behavior. Jane Goodall. Belknap Press, 1986.
Hunter-gatherer childhoods: Evolutionary, developmental and cultural perspectives. Dirigido por Barry S. Hewlett y Michael E. Lamb. Taylor & Francis, 2005.
Metabolic hypothesis for human altriciality. Holly M. Dunsworth et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, págs. 15212-15216, septiembre de 2012.
Age-related effects and sex differences in gray matter density, volume mass, and cortical thickness from childhood to young adulthood. Efstathios D. Gennatas et al. en *Journal of Neuroscience*, vol. 37, 3550-16, abril de 2017.

EN NUESTRO ARCHIVO

La receta humana de la crianza. Ana Mateos en *IyC*, noviembre de 2014.
La plasticidad del cerebro adolescente. Jay N. Giedd en *IyC*, agosto de 2015.

¿EN QUÉ SE DISTINGUE NUESTRO CEREBRO?

LAS REGIONES QUE SE OCUPAN DE LA COGNICIÓN Y EL LENGUAJE SE HAN AGRANDADO ENORMEMENTE DURANTE LA EVOLUCIÓN

CHET C. SHERWOOD

GRÁFICOS DE MESA SCHUMACHER

LOS HUMANOS NOS SALIMOS DE ESCALA. Nuestro cerebro es unas tres veces más voluminoso que el de nuestros primeros ancestros homininos y el de los simios antropomorfos vivos. En el conjunto de los animales existe una fuerte correlación entre el tamaño cerebral y el corporal. Pero los humanos nos situamos en punto muy atípico en esta correlación. En la edad adulta, nuestro cerebro pesa una media de 1,36 kilogramos, lo que supone alrededor del 2 por ciento del peso corporal. En cambio, consume un desproporcionado 20 por ciento de los recursos energéticos del cuerpo debido a la elevadísima actividad eléctrica de las neuronas y a la cantidad de energía metabólica que se gasta en la transmisión de las señales neuroquímicas.



Chet C. Sherwood es catedrático de antropología en la Universidad George Washington. Su trabajo se centra en la evolución del cerebro de los primates y de otros mamíferos.

La comparación minuciosa del cerebro de los humanos con el de nuestros parientes primates vivos, incluidos los chimpancés, ha demostrado que las partes de la corteza cerebral que se ocupan de las funciones cognitivas de alto nivel, como la creatividad y el pensamiento abstracto, han aumentado su tamaño de forma llamativa. Estas regiones corticales, conocidas como áreas de asociación, maduran relativamente tarde en el desarrollo posnatal. Algunas de las conexiones neurales de largo alcance que vinculan tales áreas con otras y con el cerebelo (que interviene en el movimiento voluntario y en el aprendizaje de nuevas habilidades) son más numerosas en los humanos que en otros primates. En estas redes mejoradas se localizan el lenguaje, la fabricación de herramientas y la imitación. Incluso los ancestrales sistemas de recompensa del área subcortical, denominada cuerpo estriado (un centro de actividad para el neurotransmisor dopamina), parecen haberse remodelado durante la evolución del cerebro humano. Es muy probable que este cambio sirviera para prestar más atención a las señales sociales y facilitar el aprendizaje del lenguaje.

¿De dónde viene nuestro enorme cerebro? El registro fósil de los homininos revela la tendencia general hacia el incremento de la capacidad craneal durante los últimos seis millones de años, más o menos, cuando nuestro linaje se separó del último ancestro común que compartimos con los chimpancés y los bonobos. Se piensa que muchos rasgos interrelacionados de la biología humana se deben a nuestro enorme cerebro: crecimiento más lento durante la infancia, mayor esperanza de vida y más implicación del padre y de los abuelos durante la crianza de la descendencia para ayudar a la madre. Que el cerebro siga creciendo después del nacimiento significa que los acontecimientos importantes que fundamentan la cognición tienen lugar en un contexto social y ecológico ricos.

Otra pista de lo que nos diferencia de los chimpancés y otras especies inteligentes viene de investigaciones sólidas que han desvelado los cambios genéticos y moleculares acaecidos durante el largo recorrido de la evolución del cerebro. Echemos un vistazo a algunos de los rasgos distintivos del cerebro humano.

FOXP2

SRGAP2C

NOTCH2NL

GENES

La variante del gen *FOXP2* hallada en los humanos interviene en el aprendizaje vocal **A**. *SRGAP2C*, un duplicado único de *SRGAP2* presente solo en los humanos, incrementa la densidad de las conexiones neurales **B**. Una versión humana del gen *NOTCH*, conocida como *NOTCH2NL*, tiene tres copias y ayuda a producir neuronas **C**.

Neurona de Von Economo

Sinapsis (unión intercelular)

Dopamina

CÉLULAS

Las neuronas de Von Economo, decisivas para los circuitos neurales socioemocionales, son más grandes en los humanos **A**. Los ARN con las instrucciones para la síntesis de proteínas están más activos en las sinapsis de la corteza prefrontal (*área oscura*) que en otros primates **B**. Las células del cuerpo estriado producen más dopamina, un neurotransmisor que interviene en varias funciones cognitivas **C**.

Sistema de neuronas espejo

Circuito del lenguaje

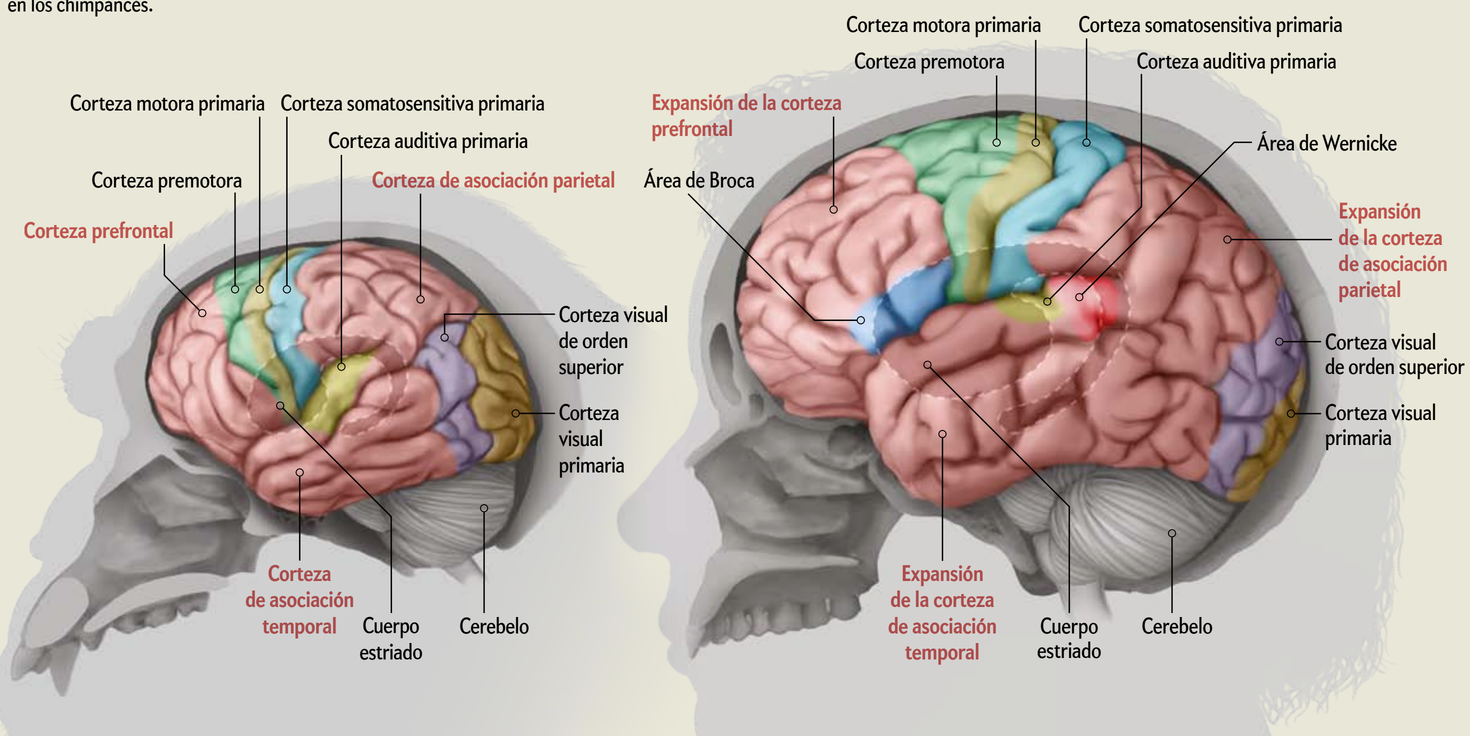
Control vocal

CIRCUITOS

El sistema de neuronas espejo, activado cuando se ven las acciones de otros, tiene un circuito intrincado en los humanos **A**. Las mayores conexiones entre las áreas de Wernicke y de Broca resultan esenciales para el procesamiento del lenguaje **B**. La conexión de la corteza motora al tronco encefálico, que coordina los músculos de la laringe, está ausente en los chimpancés y en los macacos **C**.

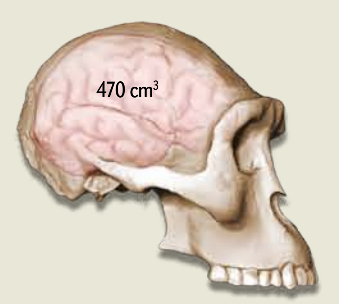
EXPANSIÓN REGIONAL

Las áreas cerebrales responsables de las funciones cognitivas superiores (incluidas la corteza prefrontal, la de asociación temporal y la de asociación parietal) crecieron de manera desproporcionada en los humanos con respecto a las mismas regiones en los chimpancés.



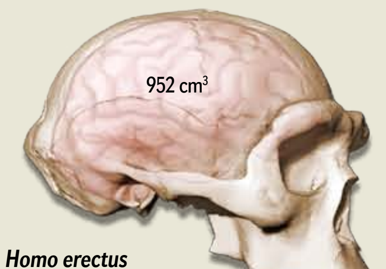
UN CEREBRO VOLUMINOSO NOS HA LLEVADO HASTA HOY

El último ancestro común que los humanos compartimos con los chimpancés y los bonobos vivió hace entre unos seis y ocho millones de años. Tras la separación de los dos linajes, se produjeron numerosas adaptaciones evolutivas: bipedismo, fabricación de herramientas con piedras y, sobre todo, un incremento del tamaño cerebral en algunas especies de homininos, un proceso que cobró impulso con el tiempo.



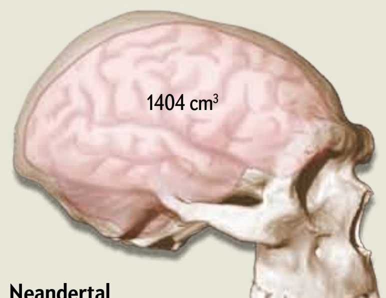
Austrolopithecus africanus
Combinaba rasgos de los humanos y de los simios. Su volumen cerebral de 470 cm^3 se asemejaba al de los chimpancés.

De 3,3 a 2,1 millones de años (Ma)



Homo erectus
Se distinguió por fabricar herramientas, como las hachas manuales, y expandir su entorno doméstico fuera de África.

De 1,9 Ma a 143.000 años (143 ka)



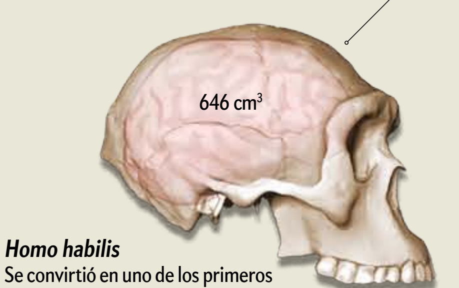
Neandertal
Coexistió con nuestra especie, era un ferviente cazador y dominaba las herramientas y el fuego. El volumen de su cráneo, de 1404 cm^3, se asemejaba al nuestro.

De 400 a 40 ka

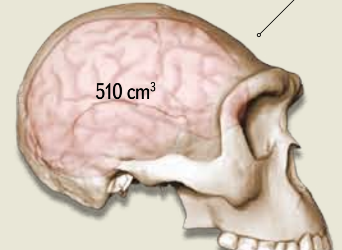
De 335 a 236 ka

De 2,1 a 1,6 Ma

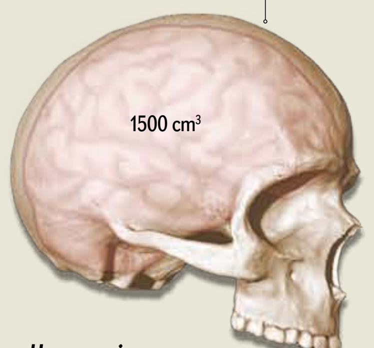
De 300 ka al presente



Homo habilis
Se convirtió en uno de los primeros miembros del género *Homo*. Tenía un rostro más pequeño que sus ancestros y desarrolló áreas frontales conectadas con el lenguaje.



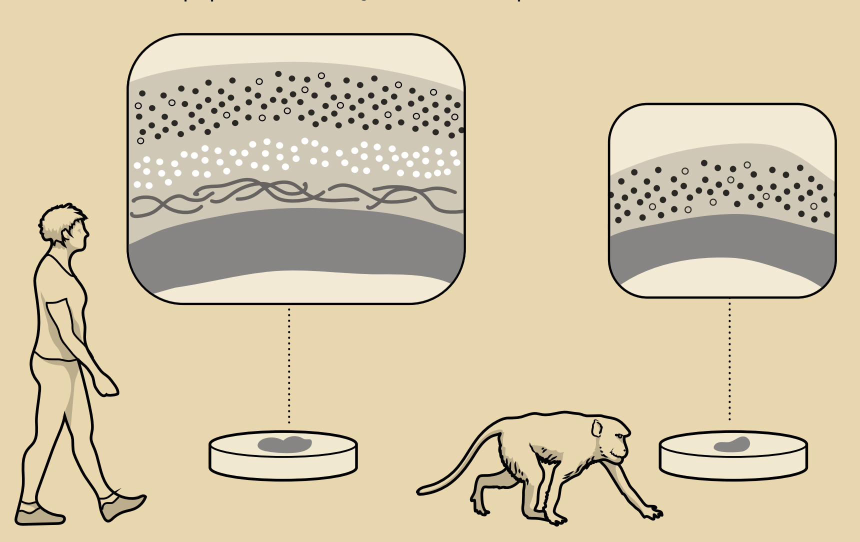
Homo naledi
Fue un nuevo miembro del linaje humano cuya historia demuestra que la evolución no siempre se desplaza en línea recta. Su cráneo era más pequeño, de 510 cm^3.



Homo sapiens
Surgió hace unos 300.000 años. Su cerebro es esférico, o globular, debido a la forma redondeada del área parietal y del cerebelo.

MINICEREBROS

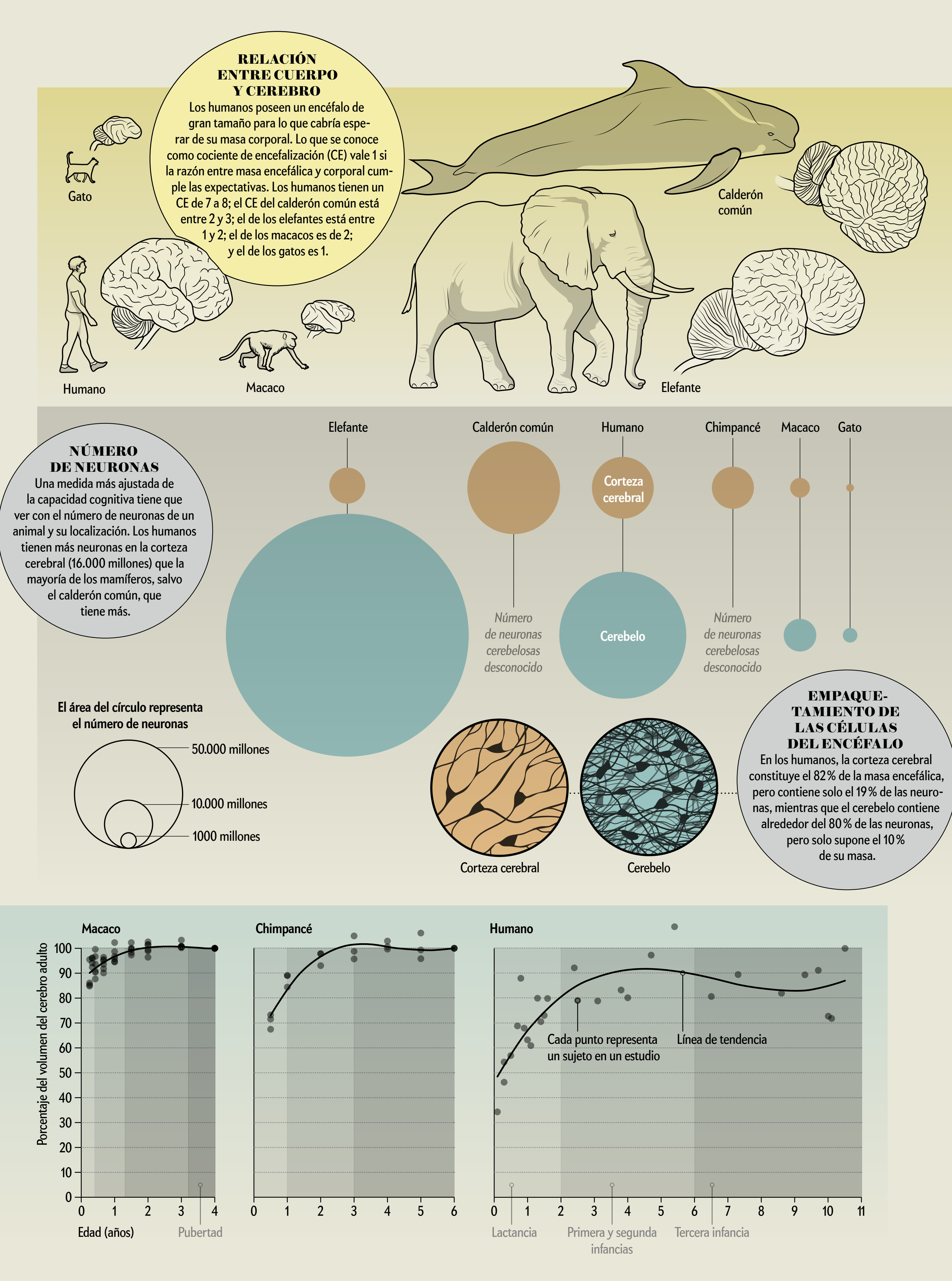
El suministro de nutrientes a grupos de células madre en una placa de laboratorio les permite crecer y formar minicerebros. Estos organoides cerebrales, como se llaman, contienen regiones cerebrales enteras, como la corteza de un humano o de un mono (*vistas transversales*). La técnica en cuestión permite el estudio de la actividad de los genes y del desarrollo del circuito neural en el laboratorio, así como comparar este con el funcionamiento del cerebro real de los humanos, primates no humanos y otras especies, lo que a la larga proporcionará una imagen más clara de lo que nos hace únicos.



ASÍ CRECE NUESTRO CEREBRO

En comparación con otros primates, los bebés humanos nacemos con un cerebro infradesarrollado. Pero este crece más rápido durante el primer año de vida y años después se estabiliza con un volumen unas tres veces mayor que el de un chimpancé.

FUENTES: «Developmental patterns of chimpanzee cerebral tissues provide important clues for understanding the remarkable enlargement of the human brain», por T. Sakai et al., en *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 270, febrero de 2013 (*expansión de regiones cerebrales*); «Mammalian brains are made of these: A dataset of the numbers and densities of neuronal and nonneuronal cells in the brain of Glires, Primates, Scandentia, Eulipotyphlans, Afrotherians and Artiodactyls, and their relationship with body mass», por S. Herculano-Houzel et al., en *Brain, Behavior and Evolution*, vol. 86, n.º 3-4, diciembre de 2015 (*número de neuronas del ser humano y el macaco*); «Dogs have the most neurons, though not the largest brain: Trade-off between body mass and number of neurons in the cerebral cortex of large carnivoran species», por D. Jardim-Messeder et al., en *Frontiers in Neuroanatomy*, vol. 11, artículo n.º 118, diciembre de 2017 (*número de neuronas del gato*); «Quantitative relationships in delphinid neocortex», por H. S. Mortensen et al., en *Frontiers in Neuroanatomy*, vol. 8, artículo n.º 132, noviembre de 2014 (*número de neuronas del calderón*); «Cortical cell and neuron density estimates in one chimpanzee hemisphere», por C. E. Collins et al., en *PNAS*, vol. 113, n.º 3, enero de 2016 (*número de neuronas del chimpancé*); «Human evolutionary history», por E. K. Boyle y B. Wood, en *Evolution of nervous systems*. Segunda edición. Dirigido por J. H. Kaas. Academic Press, 2017 (*evolución de los homininos*); Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsoniano, *http://humanorigins.si.edu* (*cronología de las especies de homininos*)



RELACIÓN ENTRE CUERPO Y CEREBRO
Los humanos poseen un encéfalo de gran tamaño para lo que cabría esperar de su masa corporal. Lo que se conoce como cociente de encefalización (CE) vale 1 si la razón entre masa encefálica y corporal cumple las expectativas. Los humanos tienen un CE de 7 a 8; el CE del calderón común está entre 2 y 3; el de los elefantes está entre 1 y 2; el de los macacos es de 2; y el de los gatos es 1.
Gato
Humano
Macaco
Calderón común
Elefante
NÚMERO DE NEURONAS
Una medida más ajustada de la capacidad cognitiva tiene que ver con el número de neuronas de un animal y su localización. Los humanos tienen más neuronas en la corteza cerebral (16.000 millones) que la mayoría de los mamíferos, salvo el calderón común, que tiene más.
Elefante
Calderón común
Humano
Chimpancé
Macaco
Gato
Corteza cerebral
Cerebelo
Número de neuronas cerebelosas desconocido
Número de neuronas cerebelosas desconocido
El área del círculo representa el número de neuronas
50.000 millones
10.000 millones
1000 millones
Corteza cerebral
Cerebelo
EMPAQUETAMIENTO DE LAS CÉLULAS DEL ENCÉFALO
En los humanos, la corteza cerebral constituye el 82 % de la masa encefálica, pero contiene solo el 19 % de las neuronas, mientras que el cerebelo contiene alrededor del 80 % de las neuronas, pero solo supone el 10 % de su masa.
Macaco
Chimpancé
Humano
Porcentaje del volumen del cerebro adulto
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Edad (años)
Pubertad
Cada punto representa un sujeto en un estudio
Línea de tendencia
Lactancia
Primera y segunda infancias
Tercera infancia

¿POR QUÉ NUESTRA ESPECIE ES LA ÚNICA QUE HA SOBREVIVIDO DE LA ESTIRPE HUMANA?

PARTE 2

Nosotros y ellos

EL ÚLTIMO HOMININO

KATE WONG :: *ILUSTRACIÓN DE YUKO SHIMIZU*



L

os primeros *Homo sapiens* habitaron un mundo que hoy nos parecería tremendamente extraño. No por la exótica fauna y flora ni porque el clima o el nivel del mar fuesen distintos, que por supuesto lo eran, sino porque con ellos convivían otros congéneres. En efecto, los *H. sapiens* hemos compartido la mayor parte de nuestra existencia con varias especies humanas. En África, donde se originó nuestra especie, también deambulaba *Homo heidelbergensis*, muy encefalizado, y *Homo naledi*, con un menor tamaño cerebral. Asia era el hogar de *Homo erectus*, de los misteriosos denisovanos y, posteriormente, de *Homo floresiensis*, una criatura semejante a un hobbit, de talla diminuta pero con unos pies enormes. Por su parte, los robustos y cejudos neandertales dominaban Europa y Asia occidental. Y probablemente hubiese otras especies que todavía no se han descubierto.



Kate Wong es responsable de redacción de *Scientific American* sobre evolución y ecología.

Hace unos 40.000 años, por lo que sabemos hoy en día, nuestra especie se quedó sola, convirtiéndose en el último miembro de la antaño heterogénea familia de primates bípedos, denominados colectivamente homininos. (En este artículo, los términos *humano* y *hominino* hacen referencia tanto a *H. sapiens* como a los demás parientes extintos.) ¿Por qué somos la última especie humana sobre la faz de la Tierra?

Hasta hace unos años, prevalecía una explicación sencilla: *H. sapiens* habría aparecido en época relativamente reciente, más o menos en su forma actual y en un solo lugar de África, y desde allí se dispersó por todo el Viejo Mundo, suplantando a los neandertales y a los demás humanos primigenios que encontraron en el camino. Las especies no confraternizaron, sino que la vieja guardia se vio reemplazada en su totalidad por los recién llegados, que eran más inteligentes y cuyo auge era inevitable.

Sin embargo, a la luz de los descubrimientos arqueológicos y paleontológicos, así como de los análisis genómicos, cada vez se cuestiona más esa hipótesis. Parece que nuestra especie se originó mucho antes de lo que se creía, posiblemente en varios puntos del continente africano, no en una sola región, y que algunos de sus rasgos distintivos (incluidos los cerebrales) evolucionaron poco a poco. Además, se ha hecho evidente que *H. sapiens* sí se relacionó con las demás especies humanas y que la hibridación con ellas pudo haber representado un factor crucial de su éxito. En conjunto, estos hallazgos configuran una historia mucho más compleja de lo que habíamos imaginado, una historia sobre el triunfo de nuestra especie en la que prima el puro azar por encima del destino.

TEORÍA AMENAZADA

Tradicionalmente, el debate sobre el origen de *H. sapiens* se ha centrado en dos modelos opuestos. Por un lado, la hipótesis del origen africano reciente, abanderada por el paleoantropólogo Christopher Stringer y otros, defiende que nuestra especie apareció en África oriental o meridional hace unos 200.000 años y, debido a su superioridad intrínseca, fue sustituyendo a los demás homininos arcaicos de todo el planeta, sin cruzarse con ellos en grado significativo. Por otro lado, el modelo de la evolución multirregional, formulado por los paleoantropólogos Milford Wolpoff, Xinzhi Wu y el fallecido Alan Thorne, postula que los *H. sapiens* modernos descendemos de los neandertales y otras poblaciones arcaicas arraiga-

das por todo el Viejo Mundo, con las que se hallaban conectadas a través de migraciones y apareamientos. Según esta hipótesis, las raíces de *H. sapiens* serían mucho más profundas y se remontarían a hace al menos dos millones de años.

A principios de la década de 2000, la hipótesis del origen africano reciente estaba respaldada por numerosos datos científicos. Los análisis genómicos de las personas vivas indicaban que nuestra especie se había originado, como muy tarde, 200.000 años atrás. Los fósiles atribuidos a *H. sapiens* más antiguos que se conocían son los de dos yacimientos de Etiopía, Omo y Herto, de 195.000 y 160.000 años de antigüedad, respectivamente. Por último, las secuencias de ADN mitocondrial (el minúsculo ADN circular alojado en los orgánulos productores de energía de la célula, que es diferente del ADN contenido en el núcleo) recuperadas de los fósiles de neandertales no coincidían con las de los humanos modernos, exactamente como cabría esperar si *H. sapiens* hubiese sustituido a los humanos arcaicos sin aparearse con ellos.

No obstante, no todos los datos encajan armoniosamente en esa historia. Muchos arqueólogos creen que el inicio de una era cultural denominada Edad de Piedra media anuncia la aparición de unas poblaciones que empezaban a razonar como nosotros. Antes de ese despunte tecnológico, los humanos arcaicos del Viejo Mundo fabricaban el mismo tipo de herramientas líticas, circunscritas al estilo conocido como achelense. Este se centraba en la producción de recias hachas de mano, talladas a partir de un núcleo de piedra que se percutía hasta darle la forma deseada. Con el inicio de la Edad de Piedra media, nuestros antepasados modificaron los métodos de talla para concentrarse en las lascas cortantes que se desprendían del núcleo, en un uso de la materia prima que resultaba más eficiente y requería una planificación compleja; y comenzaron a montar las lascas sobre mangos, para confeccionar lanzas y otras armas arrojadizas. Además, aquellos tallistas elaboraron artículos asociados con comportamientos simbólicos, como abalorios ornamentales a base de conchas marinas y pigmentos para pintar. Se cree que el comportamiento simbólico, en el cual se incluye el lenguaje, es una de las características de la mente moderna.

El problema era que la antigüedad estimada para la Edad de Piedra media correspondía a 250.000 años o más, superior a la de los primeros fósiles de *H. sapiens*, de menos de 200.000 años. ¿Fue otra especie la artífice de la Edad de Piedra media o apareció *H. sapiens* antes de lo que indicaban los fósiles?

En 2010 se abrió otra fisura en la teoría dominante hasta entonces, cuando se anunció que se había secuenciado el ADN nuclear de fósiles de neandertales. Al comparar este con el de humanos vivos, se constató que las personas que no tienen ascendencia africana son portadoras de ADN neandertal, lo cual demuestra que ambas especies sí se hibridaron, al menos en alguna ocasión.

En ulteriores estudios paleogenómicos se confirmó que los neandertales contribuyeron al acervo génico de los humanos modernos, al igual que otros humanos arcaicos. Además, contradiciendo la idea de que *H. sapiens* había aparecido en los últimos 200.000 años, dichos estudios indicaban que *H. neanderthalensis* y *H. sapiens* se separaron de su ancestro común bastante antes de esa fecha, quizá incluso hace más de 500.000 años. En tal caso, la antigüedad de *H. sapiens* sería el doble de lo que indicaba el registro fósil.

RANCIO ABOLENGO

Los descubrimientos recientes en el yacimiento de Yebel Igud, en Marruecos, han permitido alinear mejor los datos paleontológicos, antropológicos y genómicos, lo que ha dado lugar a una nueva concepción de nuestros orígenes. Al principio se creyó que los huesos hallados en 1961 en el lugar tenían unos 40.000 años y correspondían a neandertales, pero las excavaciones prosiguieron y hubo que replantear dichas afirmaciones a raíz de los análisis realizados. En junio de 2017, el equipo del paleoantropólogo Jean-Jacques Hublin, del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva, en Leipzig, anunció que habían encontrado más fósiles en el yacimiento, junto con herramientas propias de la Edad de Piedra media; mediante dos técnicas de datación distintas, calcularon que tenían unos 315.000 años. Habían descubierto los primeros vestigios de *H. sapiens* que se conocen, así como los restos más antiguos de la cultura de la Edad de Piedra media. Así pues, nuestra especie habría surgido más de 100.000 años antes de lo que se creía y su aparición estaría vinculada con el inicio de la Edad de Piedra media.

No todo el mundo acepta que los fósiles de Yebel Igud pertenezcan a *H. sapiens*; algunos expertos creen que pueden corresponder a un pariente cercano. Pero si Hublin y sus colaboradores tienen razón, los rasgos craneales que nos distinguen de las demás especies humanas no surgieron todos de golpe a la par que la especie, como suponían los defensores de la teoría del origen africano reciente. Los fósiles se asemejan a los humanos modernos en la pequeñez de la cara, por ejemplo, pero el neurocráneo es alargado, como el de los humanos arcaicos, y no redondeado como el nuestro. Esta diferencia morfológica refleja una organización encefálica distinta: en comparación con los humanos modernos, los individuos de Yebel Igud tenían más pequeños el lóbulo parietal, donde se procesan los estímulos sensoriales, y el cerebelo, que interviene en los procesos sociocognitivos y lingüísticos, entre otras funciones.

Los restos arqueológicos de Yebel Igud tampoco presentan todas las características de la Edad de Piedra media. Las herramientas líticas son las propias de dicha era, concebidas para cazar y descuartizar las gacelas que poblaban los prados de lo que hoy es un paisaje desértico; también hacían fuego, posiblemente para cocinar y para resguardarse del frío nocturno; pero no dejaron rastro de expresión simbólica.

De hecho, por lo general, no eran especialmente más avanzados que los neandertales o los *H. heidelbergensis*. Si pudiéramos viajar en el tiempo hasta

EN SÍNTESIS

Hasta hace poco, la teoría dominante sobre el origen de nuestra especie sostenía que *H. sapiens* había aparecido en una única región africana y había sustituido a las demás especies humanas arcaicas de todo el Viejo Mundo sin cruzarse con ellas.

Los nuevos hallazgos arqueológicos, paleontológicos y genéticos están cambiando ese relato.

Las últimas investigaciones indican que *H. sapiens* se originó a partir de distintos grupos distribuidos por toda África y que la hibridación con otras especies humanas le confirió una ventaja evolutiva.

nuestros orígenes, no apostaríamos necesariamente por nuestra especie como ganadora del juego de la evolución. Aunque los primeros *H. sapiens* innovaron en algunos aspectos, «hace 300.000 años no hubo ningún cambio importante que presagiara su triunfo», asegura Michael Petraglia, arqueólogo del Instituto Max Planck de Ciencias de la Historia Humana, en Jena.

LOS JARDINES DEL EDÉN

Muchos científicos coinciden en que *H. sapiens* no adquirió todas sus características modernas hasta hace entre unos 40.000 y 100.000 años. ¿Qué ocurrió durante ese lapso de 200.000 años, pues, para que pasáramos de ser unos humildes homininos a dominar la naturaleza y conquistar el mundo? Cada vez se presta más atención al tamaño y a la estructura de la población de *H. sapiens* como factores que influyeron en la transformación. En un artículo publicado en julio en *Trends in Ecology & Evolution*, la arqueóloga Eleanor Scerri, de la Universidad de Oxford, defiende, junto con un gran grupo interdisciplinar en el cual también figura Stringer, lo que denominan el modelo multirregional africano. Ponen de manifiesto que los primeros miembros de nuestra especie —los fósiles de Yebel Igud en Marruecos, los de Herto y Omo Kibish en Etiopía y un fragmento de cráneo de Florisbad, en Sudáfrica— difieren mucho más entre sí que los humanos de hoy en día, hasta tal punto que algunos investigadores plantean que serían especies o subespecies distintas. «Aunque quizá los primeros *H. sapiens* eran enormemente heterogéneos», apunta Scerri. Y añade que buscar un único origen de nuestra especie, como vienen haciendo muchos investigadores, tal vez resulte en vano.

En realidad, puede que nuestros parientes extintos hayan contribuido sustancialmente a nuestro triunfo

Cuando ella y sus colaboradores examinaron los últimos datos paleontológicos, genéticos y arqueológicos, observaron que la aparición de *H. sapiens* fue menos local y más panafricana. Ello les hace pensar que nuestra especie, en vez de desarrollarse como una pequeña población en una región particular de África, surgió de una población de mayor tamaño repartida en grupos por el vasto continente, los cuales en ocasiones pasaban miles de años semiaislados por las distancias y las barreras ecológicas, como los desiertos. Estos períodos de soledad permitieron que cada grupo se adaptase biológica y tecnológicamente a sus respectivos nichos, desde los áridos bosques o las sabanas hasta las selvas tropicales o las costas. Los contactos esporádicos entre los grupos facilitaron el intercambio genético y cultural que hizo evolucionar nuestra estirpe.

Es posible que los cambios climáticos favoreciesen la separación y reagrupación de las subpoblaciones. Los datos paleoambientales indican que cada 100.000 años, aproximadamente, África atraviesa una fase húmeda en la cual el desierto del Sáhara se convierte en un exuberante oasis de lagos y vegetación. Estos episodios habrían permitido el contacto de poblaciones hasta ese momento apartadas. Al volver a secarse el Sáhara, quedarían aisladas de nuevo y proseguirían sus propios experimentos evolutivos durante otro tiempo, hasta el siguiente período de verdor.

Según Scerri, aunque las migraciones esporádicas los mantuviesen conectados, la división de la población en subgrupos adaptados a sus respectivos nichos ecológicos explicaría no solo la evolución en mosaico de la anatomía distintiva de *H. sapiens*, sino también la distribución discontinua de la Edad de Piedra media. A diferencia de las industrias achelenses, que son prácticamente idénticas en todos los yacimientos del Viejo Mundo, los utensilios de la Edad de Piedra media presentan notables variaciones regionales. Así, en los yacimientos norteafricanos de hace entre 60.000 y 130.000 años se encuentran artefactos que no han aparecido en los sudafricanos de la misma edad, como implementos líticos con pedúnculos que podrían haber servido de soporte para una empuñadura. De la misma manera, en los yacimientos del sur del continente se han encontrado herramientas más finas, en forma de hoja, que se fabricaron a partir de piedras calentadas para mejorar la mecánica de fractura, mientras que en el norte no las hay. Con el tiempo, la tecnología compleja y el simbolismo se tornan más frecuentes en toda África, si bien cada grupo actúa a su manera, acomodando su cultura a su respectivo nicho y a sus hábitos.

H. sapiens no fue el único hominino que desarrolló un mayor cerebro y adoptó comportamientos complejos. Hublin constata un incremento del volumen encefálico en los fósiles humanos hallados en China, de entre 50.000 y 300.000 años de antigüedad, y que él sospecha corresponden a los denisovanos. Los neandertales, en el transcurso de su largo reinado, también idearon instrumentos avanzados, además de sus propias formas de expresión simbólica y conexión social. Con todo, dichos comportamientos no parecen haberse desarrollado tanto ni haber adquirido el valor fundamental que han llegado a tener en nuestras vidas. Así lo opina el arqueólogo John Shea, de la Universidad de Stony Brook, que cree que fue el lenguaje avanzado lo que encumbró a *H. sapiens*.

«Todos estos grupos evolucionaban en la misma dirección», explica Hublin, «pero nuestra especie alcanzó un umbral antes que las demás en lo que concierne a capacidades cognitivas, complejidad social y éxito reproductivo.» Fue entonces, hace unos 50.000 años, cuando los *H. sapiens*, forjados

y perfeccionados en África, tuvieron la posibilidad de colonizar casi cualquier otro entorno del planeta y prosperar.

ENCUENTROS CERCANOS

Los miles de años de separaciones y reencuentros con otros *H. sapiens* quizá nos confirieron una ventaja evolutiva respecto a las demás especies de la familia humana, pero no fue ese el único factor que motivó nuestro ascenso y dominio del mundo. En realidad, puede que nuestros parientes extintos hayan contribuido sustancialmente a nuestro triunfo. *H. sapiens* no solo compitió con los demás humanos arcaicos que encontraron en sus migraciones por África y allende el continente, sino que también se apareó con ellos. La prueba radica en el ADN de las personas vivas hoy: el 2 por ciento del genoma de los eurasiáticos es neandertal; el 5 por cierto del de los melanesios es denisovano. Un estudio de Arun Durvasula y Sriram Sankararaman, de la Universidad de California en Los Ángeles, publicado en marzo en el repositorio bioRxiv, señala que casi el 8 por ciento de la herencia genética del pueblo yoruba, del África occidental, desciende de una especie arcaica desconocida.

Se especula que parte del ADN que tomó *H. sapiens* de los homininos arcaicos lo ayudó a adaptarse a los nuevos hábitats que colonizaba en su expansión por el planeta. Cuando el equipo de Joshua Akey, genetista de la Universidad de Princeton, estudió las secuencias neandertales en las poblaciones modernas, descubrió que 15 de ellas tenían una elevada prevalencia, signo de que sus efectos fueron beneficiosos. Se ha observado que la mitad de esas secuencias prevalentes influyen en la inmunidad. En su larga marcha, los humanos modernos se vieron expuestos a nuevos microbios, afirma Akey, pero gracias a que se cruzaron con los neandertales, adquirieron adaptaciones que les permitieron combatir mejor esos patógenos.

La otra mitad de las secuencias neandertales guardan relación con la piel y la pigmentación. Hasta ahora se suponía que los *H. sapiens* procedentes de África, que seguramente tenían la piel oscura para protegerse de la fuerte radiación ultravioleta, tuvieron que adquirir una tez más clara a medida que poblaban latitudes septentrionales, a fin de obtener suficiente vitamina D, que el organismo capta de la luz solar. Es posible que los genes cutáneos de los neandertales ayudasen a nuestros ancestros precisamente a eso.

Los neandertales no son los únicos humanos arcaicos que nos cedieron genes útiles. Los tibetanos modernos les deben a los denisovanos una variante génica que les ayuda a soportar la escasez de oxígeno en las alturas de la meseta del Tíbet, mientras que los africanos han heredado, de un ancestro desconocido, la variante de un gen que les ayuda a mantener a raya las bacterias nocivas de la cavidad bucal.

Al hibridarse con humanos arcaicos que se habían adaptado durante milenios a las condiciones de cada lugar, los *H. sapiens* invasores se habrían amoldado mucho más rápido a un nuevo entorno que si hubiesen esperado a que surgieran mutaciones favorables en su propio genoma. Pero no todo fue positivo. Algunos de los genes que obtuvimos de los neandertales están asociados con las depresiones y otros trastornos. Quizá estos genes resultaron ventajosos en el pasado y comenzaron a dar problemas en la vida moderna. O, quizá, como sugiere Akey, el riesgo de padecer estas enfermedades era un precio aceptable que pagar a cambio de las ventajas que reportaban tales genes.

Los humanos arcaicos aportaron algo más que ADN a nuestra especie. Se ha planteado que el contacto entre distintos grupos humanos debió de comportar un intercambio cultural y fomentar la innovación. La llegada de *H. sapiens* a la Europa occidental, que los neandertales habitaban desde tiempos ancestrales, coincide con un desarrollo extraordinario de la creatividad artística y tecnológica en ambos grupos. Según algunos expertos, los neandertales no habían hecho más que imitar el ingenio de sus nuevos vecinos. En realidad, tal vez fue la interacción entre las dos poblaciones lo que detonó la explosión cultural a ambos lados.

De alguna forma, que los *H. sapiens* se cruzaran con otros linajes humanos no debería de sorprendernos. «Sabemos que la hibridación ha sido muy importante para la evolución de muchos animales», apunta la bioantropóloga Rebecca Rogers Ackermann, de la Universidad de Ciudad del Cabo. «En algunos casos, puede engendrar poblaciones e incluso especies nuevas que se adaptan mejor a entornos diferentes o cambiantes porque poseen rasgos nuevos o porque los combinan de formas innovadoras.» Algo así ocurrió con nuestros antepasados: la amalgama de estirpes conformó la especie variable que somos hoy. «Somos fruto de una intrincada red de linajes», afirma Ackermann. Sin ella, no habríamos tenido tanto éxito.

Falta esclarecer con qué frecuencia se cruzaron las especies y hasta qué grado ello favoreció la evolución de *H. sapiens* y de los demás homininos, pero cabe suponer que las particulares circunstancias ambientales y demográficas que rodearon a nuestros congéneres, tanto en África como fuera del continente, conllevaron más oportunidades de intercambio cultural y genético con otros grupos. Tuvimos suerte, pero no por ello somos menos extraordinarios. IyC

PARA SABER MÁS

The hybrid origin of «modern» humans. Rebecca Rogers Ackermann et al. en *Evolutionary Biology*, vol. 43, n.º 1, págs. 1-11, marzo de 2016.

Did our species evolve in subdivided populations across Africa, and why does it matter? Eleanor M. L. Scerri et al. en *Trends in Ecology & Evolution*. Publicado en línea el 11 de julio de 2018.

EN NUESTRO ARCHIVO

El mito sobre nuestro origen. John J. Shea en *IyC*, julio de 2011.

Híbridos humanos. Michael F. Hammer en *IyC*, julio de 2013.

Nuestra historia evolutiva. VV.AA. Colección *Temas* de *IyC*, n.º 92, 2018 (recopilación de artículos publicados en *IyC* sobre los cambios biológicos que han moldeado la especie humana).

PARTE 2

Nosotros y ellos

ASÍ APRENDIMOS A CONSIDERARNOS IGUALES

LOS ORÍGENES DE LA MORALIDAD

MICHAEL TOMASELLO :: *ILUSTRACIÓN DE YUKO SHIMIZU*





I LA EVOLUCIÓN CONSISTE EN LA SUPERVIVENCIA DEL MÁS APTO, ¿QUÉ HIZO QUE LOS humanos nos volviéramos criaturas morales? Si el proceso evolutivo hace que cada individuo tienda a maximizar sus facultades adaptativas, ¿cómo llegamos a sentir que debíamos ayudar a los demás y ser justos con ellos?

Existen dos respuestas clásicas a estas preguntas. Por un lado, tiene sentido que un individuo ayude a sus parientes cercanos, con quienes comparte genes. Por otro, pueden darse situaciones de reciprocidad en las que un individuo le rasca la espalda a otro, este hace lo propio, y a largo plazo todos se benefician.

Pero la moralidad no consiste solo en ser amables con nuestros parientes. Y la reciprocidad es una actitud arriesgada, ya que un individuo siempre puede marcharse después de haber obtenido un beneficio y dejar a los demás en la estacada. Además, ninguna de estas teorías clásicas explica lo que, presumiblemente, constituye la esencia de la moralidad humana: el sentimiento de compromiso mutuo que tenemos los humanos con respecto a nuestros congéneres.

En los últimos años, el problema de la moralidad ha sido objeto de un nuevo tratamiento. La clave reside en entender que los individuos que viven en un grupo en el que cada uno depende de los demás operan según una lógica determinada. Según esta «lógica de interdependencia», si yo dependo de ti, entonces me interesa ayudarte para asegurar tu bienestar. En términos más generales, si todos dependemos de los demás, todos tenemos que cuidarnos mutuamente.

¿Cómo se llegó a esa situación? La respuesta guarda relación con las particulares circunstancias que obligaron al ser humano a adoptar formas de vida más cooperativas, especialmente a la hora de obtener alimentos y otros recursos.

EL PAPEL DE LA COLABORACIÓN

Nuestros parientes evolutivos vivos más próximos, chimpancés y bonobos, buscan frutas y plantas en pequeños grupos. Pero, cuando las encuentran, se desbandan y cada individuo toma su propio alimento. Todo conflicto se resuelve por dominación: gana el mejor luchador. En los casos que más se asemejan a una búsqueda colaborativa, unos pocos chimpancés macho pueden rodear un mono y capturarlo. Pero eso recuerda más al proceder de los leones y de los lobos que al carácter colaborativo de los humanos. Cada chimpancé maximiza sus propias opciones tratando de bloquear las vías de escape del mono. El chimpancé captor intentará devorar el cadáver entero, pero por lo general no podrá hacerlo. Entonces los demás individuos se agruparán alrededor de la presa y comenzarán a desgarrarla. El captor debe permitir que eso suceda, o bien pelear con los demás. Pero esto probablemente le supondrá perder la comida en medio del caos, por lo que acabará compartiendo una porción.

Los humanos procedemos de otro modo. Hace unos dos millones de años surgió el género *Homo*, dotado de un cerebro más voluminoso y con nuevas aptitudes para fabricar herramientas de piedra. Poco después, la llegada de un enfriamiento global y de un periodo seco conllevó la proliferación de simios terrestres que compitieron con *Homo* en la obtención de recursos.

Los primeros humanos necesitaban nuevas opciones. Una de ellas consistía en aprovechar la carroña de presas cazadas por otros animales. Pero, más tarde, según la antropóloga Mary C. Stiner, de la Universidad de Arizona, algunos de los primeros humanos (seguramente *Homo heidelbergensis*, hace 400.000 años) comenzaron a obtener la mayor parte de sus alimentos mediante una colaboración activa, en la que los individuos se proponían objetivos comunes y trabajaban de forma colectiva en la caza y la recolección. De hecho, la colaboración pasó a ser obligada para sobrevivir: los individuos se volvieron interdependientes para obtener su sustento diario.

Una parte esencial de este obligado proceso de búsqueda colaborativa incluía la elección de los compañeros. Aquellos que, por razones cognitivas o de cualquier tipo, fuesen incapaces de colaborar (de establecer objetivos comunes y de comunicarse de forma eficiente con el resto) no eran escogidos como coope-

EN SÍNTESIS

El germen de la moralidad humana se gestó hace unos 400.000 años, cuando los individuos se vieron obligados a colaborar para cazar y recolectar.

Debido a un mecanismo de selección natural, esa interacción cooperativa fomentó el respeto y el sentimiento de equidad hacia otros miembros del grupo.

Más tarde, el crecimiento de las poblaciones humanas consolidó un sentimiento de identidad colectiva que propició el establecimiento de un conjunto de prácticas culturales y normas sociales.

radores, por lo que quedaban sin sustento. El mismo destino sufrían quienes no eran social o moralmente cooperativos con los demás; por ejemplo, porque acaparaban el botín. Como resultado, tuvo lugar una fuerte selección social de individuos competentes, motivados y que cooperaban bien con el resto.

La clave de la evolución de la moralidad reside en que los primeros humanos que fueron socialmente elegidos para buscar comida de forma colaborativa desarrollaron nuevas maneras de relacionarse con los demás. Y lo que es más: tenían fuertes motivaciones cooperativas, tanto para trabajar colectivamente y alcanzar objetivos comunes como para ayudar y sentir afinidad hacia sus compañeros, existentes o potenciales. Si un individuo dependía de sus colaboradores para buscar alimento, entonces tenía sentido, desde el punto de vista evolutivo, ayudarlos cuando fuera necesario para asegurarse de que se encontrarían en buena forma en futuras búsquedas. Además, la supervivencia de uno mismo dependía de que los demás lo vieran como un colaborador competente y motivado. Así, a los individuos empezó a preocuparles cómo los valoraban los demás. En experimentos realizados en nuestro laboratorio, hasta los niños pequeños se preocupan por la evaluación ajena, un proceso que no parece observarse en chimpancés.

Dada la ausencia de un registro histórico y, en muchos casos, de restos fósiles y arqueológicos, nuestro centro y otras instituciones han estudiado los orígenes de la moralidad y el pensamiento humanos comparando el comportamiento de los primates más próximos a nosotros con el de niños pequeños que aún no han asimilado las normas de su cultura.

A partir de tales trabajos, hemos llegado a la conclusión de que los primeros humanos que iniciaron una búsqueda colaborativa de alimentos desarrollaron un nuevo tipo de razonamiento cooperativo. Este los llevó a tratar a otros individuos como colaboradores igualmente válidos: es decir, no desde la mera afinidad o simpatía, sino también desde un sentido de la equidad, basado en la simetría entre uno mismo y los demás. Dos compañeros entendían que, en principio, podían adoptar cualquier función dentro de un acto cooperativo y que ambos necesitaban colaborar para lograr un éxito conjunto. Además, cuando dos individuos cooperaban reiteradamente, desarrollaban un entendimiento mutuo que definía el modo en que debían actuar: al cazar antílopes, quien persigue al animal debe hacer X y quien arroja la lanza ha de hacer Y. Esos modelos de actuación idealizados eran imparciales, en el sentido de que se limitaban a especificar lo que cada colaborador debía hacer para asegurar el éxito común. Tales funciones, imparciales y conocidas por todos, eran de hecho intercambiables. Como tales, los compañeros merecían un reparto equitativo del botín, a diferencia de tramposos y advenedizos.

A la hora de elegir a un compañero para una labor colaborativa, los primeros humanos preferían escoger a alguien que adoptara una de las funciones esperadas y que repartiera el botín de forma justa. Para reducir el riesgo inherente a la elección de colaboradores, quienes estaban a punto de convertirse en compañeros podían hacer uso de sus facultades cooperativas para alcanzar un acuerdo común y comprometerse a mantener sus respectivos papeles, lo que también exigía repartir el botín de forma equitativa. Como parte de ese compromiso, los colaboradores también podían acordar implícitamente que todo aquel que incumpliera sus obligaciones merecería una reprobación.

Quien no hiciese lo que se esperaba de él pero aun así quisiera conservar una buena reputación cooperativa tendría que embarcarse en un acto de autocondena, psicológicamente interiorizada en forma de sentimiento de culpa. Así nació una moralidad de tipo «el *nosotros* es más grande que el *yo*». Durante una actuación colaborativa, ese «nosotros» operaba más allá del egoísmo individual a fin de regular las acciones de los colaboradores («tú» y «yo»).

De esta manera, las adaptaciones de los primeros humanos a la obligada búsqueda colaborativa de alimentos derivaron en lo que se conoce como «moralidad de segunda persona», definida como la tendencia a relacionarse con otros a través de un sentido de respeto y equidad, basado en ver a los demás como compañeros igualmente válidos para una labor colaborativa. Este sentido de equidad fue potenciado por el sentimiento de obligación, por la presión social para cooperar y para respetar al colaborador. Es decir, si bien todos los primates se ven presionados para lograr sus objetivos individuales del modo que consideren más eficaz, la interdependencia que gobernaba la vida social de los primeros humanos introdujo una presión adicional para tratar a los demás como se merecían, así como para esperar que los demás individuos tratasen al resto del mismo modo. Esta moralidad de segunda persona no incluía todos los atributos que definen la moralidad humana moderna, pero ya contaba con el germen de los elementos más importantes: respeto mutuo y equidad.

NORMAS CULTURALES

El segundo paso clave en la evolución de la moralidad humana se dio cuando la búsqueda colaborativa a pequeña escala terminó desestabilizándose debido a dos factores demográficos que, hace más de 200.000 años, dieron lugar a los humanos modernos. Esta nueva era llegó como consecuencia de la competición entre grupos humanos. Los combates obligaron a las poblaciones mal estructuradas a convertirse en grupos sociales más unidos para protegerse de los invasores. Cada uno de esos grupos desarrolló una división interna del trabajo, lo que condujo a una identidad colectiva de grupo.

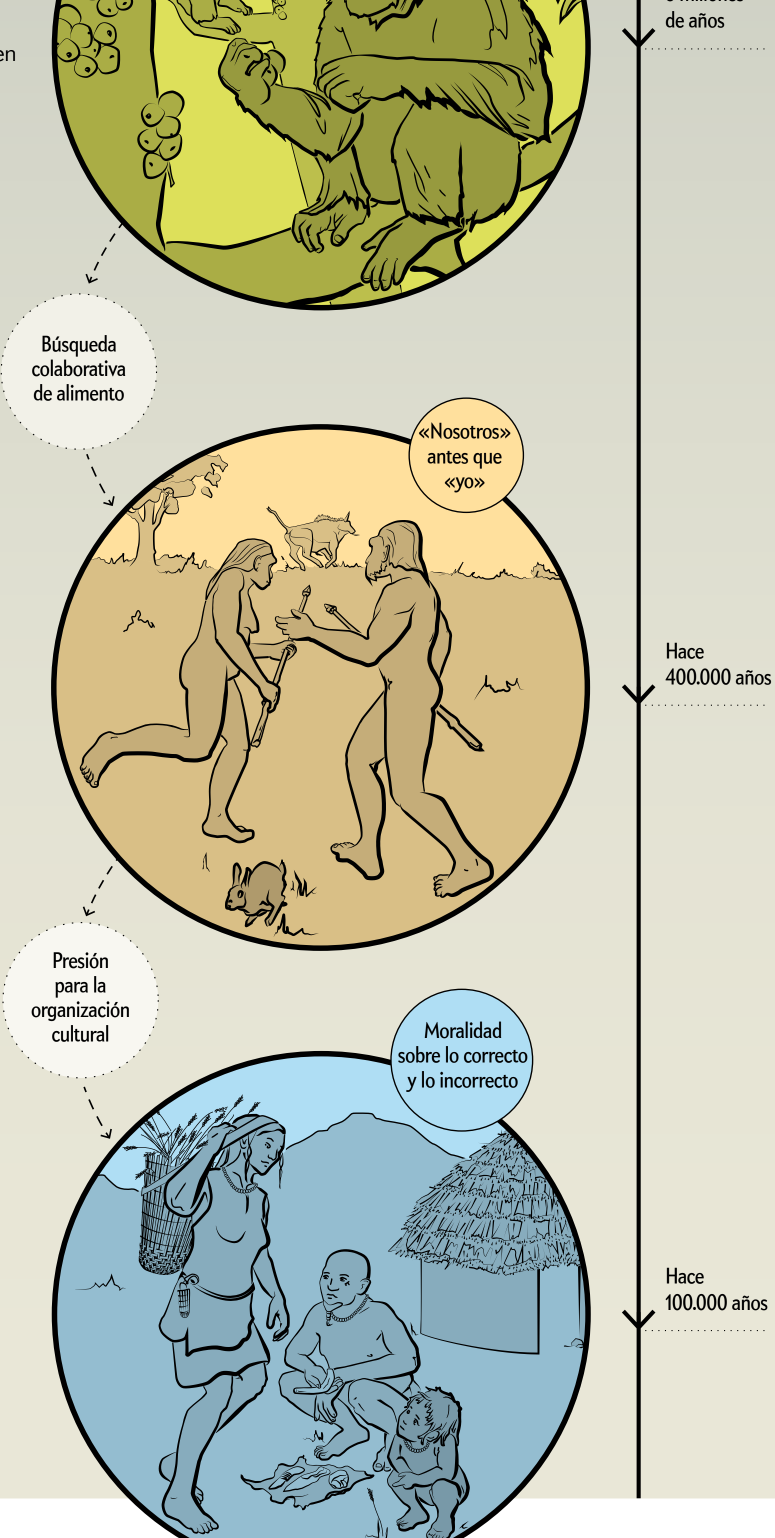
Al mismo tiempo, el tamaño de las poblaciones aumentó. A medida que eso ocurría, las entidades de mayor tamaño se subdividieron en otras más pequeñas que, sin embargo, seguían sintiéndose parte del supergrupo, o de lo que ya podía comenzar a considerarse una «cultura». Se hizo esencial reconocer a miembros de la misma tribu que no fueran familiares cercanos, así como distinguirlos de los integrantes de otros grupos tribales. Esos mecanismos de reconocimiento eran importantes, pues solo los miembros



Michael Tomasello es profesor de psicología y neurociencia en la Universidad Duke y director emérito del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva de Leipzig.

La evolución de la moralidad

Los animales cooperan entre sí, pero el ser humano lo hace de modo distinto. Esta forma de cooperación, conocida como moralidad, se distingue en dos aspectos: una persona puede ayudar a otra impulsada por motivos no egoístas, sino derivados de la compasión y la benevolencia; además, los miembros de un grupo pueden buscar el beneficio común estableciendo normas que fomenten la imparcialidad, la equidad y la justicia. Estas facultades evolucionaron a medida que los humanos se vieron obligados a cooperar para sobrevivir. Los aspectos cognitivos y sociales de ese proceso pueden entenderse a través del concepto filosófico de intencionalidad: el modo en que los individuos interpretan el mundo y persiguen sus objetivos.



Intencionalidad individual

La intencionalidad individual se caracteriza por la capacidad para modificar el comportamiento con el fin de alcanzar un objetivo concreto; normalmente, para competir con otros. Los chimpancés responden en gran parte a esta idea de interés propio. Lo mismo ocurría con el ancestro común de humanos y chimpancés, y tal vez con los primeros homininos. Ese comportamiento se observa, por ejemplo, cuando los chimpancés salen a buscar plantas. Lo hacen en grupos, pero una vez que encuentran el alimento cada uno se lleva su propio botín, sin interaccionar con los demás. Al cazar una presa, muestran pautas similares de este comportamiento relativamente egoísta.

Intencionalidad conjunta

Hace 400.000 años, nuestro ancestro directo *Homo heidelbergensis* comenzó a buscar mejores recursos. A diferencia de la caza de liebres, cazar uros u otras presas de gran tamaño requería una mayor cooperación: una intencionalidad conjunta centrada en objetivos comunes. Ello contrasta con las desbandadas de los chimpancés, donde cada animal solo se preocupa de sí mismo. Para sobrevivir, tales prácticas se hicieron «obligadas», no eran una cuestión de elección. Los individuos escogidos para cazar eran seleccionados porque, implícitamente, entendían que la necesidad era cooperar, no acaparar el botín. Así emergió una «moralidad de segunda persona», en la que el concepto de «yo» quedó subordinado al de «nosotros».

Intencionalidad colectiva

Hace 150.000 años, a medida que los grupos comenzaron crecer, las subunidades que formaban cada tribu empezaron a desarrollar prácticas comunes que, más tarde, darían lugar a las culturas humanas. Así evolucionó un conjunto de normas y convenciones que perseguían definir los objetivos del grupo y la división del trabajo: una intencionalidad colectiva propia de cada tribu. Los miembros interiorizaban tales objetivos en forma de «moralidad objetiva», la cual permitía distinguir de inmediato entre lo correcto y lo incorrecto según quedaba determinado por las prácticas culturales del grupo.

del propio grupo cultural podían beneficiarse de las destrezas de uno, y solo ellos podían ser colaboradores fiables, sobre todo a la hora de defender al grupo. Por tanto, esta dependencia con respecto a los miembros del grupo derivó en un sentido de identidad colectiva y de lealtad. Por otro lado, un fallo a la hora de mostrar esa lealtad e identidad podía condenar al individuo al ostracismo o causar su muerte en enfrentamientos con rivales.

Hoy contamos con muchas maneras de marcar la identidad de un grupo. Pero, en sus orígenes, estas guardaban relación con el comportamiento y se basaban en una serie de supuestos: quienes hablan como yo, cocinan como yo y comparten mis prácticas tienen muchas probabilidades de ser miembros de mi grupo cultural. A partir de estos supuestos, emergió la tendencia moderna hacia la conformidad con las prácticas culturales del grupo. Enseñar a un niño a hacer las cosas según las convenciones definidas por el grupo se tornó obligatorio para sobrevivir.

La enseñanza y la conformidad establecen asimismo las bases de la evolución cultural acumulativa: el hecho de que una práctica o un instrumento pueden mejorarse, y que esa innovación puede transmitirse a las generaciones posteriores. Los individuos nacían en esas estructuras sociales colaborativas y no tenían más remedio que aceptarlas. La característica psicológica fundamental de quienes se adaptaron a la vida cultural fue la consciencia de grupo: esta les llevó a adoptar la visión cognitiva del grupo como un todo, a preocuparse por el bienestar del grupo y a aceptar sus procedimientos. A esta conclusión apuntan varios estudios conductuales efectuados con niños de tres años y publicados durante la primera década de este siglo.

Los individuos pertenecientes a un grupo cultural debían aceptar las prácticas y las normas sociales prevalecientes para dejar claro que se identificaban con el grupo y con sus maneras de actuar. Pero algunas normas sociales iban más allá de la conformidad y de la identidad de grupo: hacían referencia a cierto sentido de afinidad y equidad heredado de los primeros humanos, y se convirtieron en normas morales. Por tanto, de la misma forma que algunas normas codificaban los procedimientos correctos e incorrectos para cazar o fabricar herramientas, las normas morales categorizaban la manera correcta de tratar a los demás. Dado que las metas colectivas y la base cultural de los grupos humanos generaron una visión «objetiva» —no un «yo», sino un «nosotros» colectivo—, la moralidad del ser humano moderno acabó convirtiéndose en una forma objetiva de ver lo correcto y lo incorrecto.

Por supuesto, cualquier individuo podía elegir quebrantar la norma moral. Pero, cuando el grupo lo reprobara, sus opciones eran limitadas: podía ignorar las críticas y quedarse al margen de las prácticas y los valores de su cultura, pero eso quizá implicase la expulsión del grupo. El ser humano moderno vio en las normas culturales un medio legítimo para regularse a sí mismo y para expresar un sentimiento de identidad colectiva. Si una persona se desviaba de las normas del grupo, era importante que justificara su falta de cooperación en términos de los valores compartidos por el grupo («Desatendí mis obligaciones porque tuve que ayudar a un niño en apuros»). De esa forma, no solo se interiorizaron las acciones morales, sino también las justificaciones morales, lo que acabaría generando una identidad moral basada en la razón.

PORTIA SLOAN ROLLINGS

LA COMUNIDAD DEL «NOSOTROS»

En mi libro *A natural history of human morality*, publicado en 2016, parto del supuesto de que la psicología moral humana se explica en gran parte a partir de procesos evolutivos regidos por la selección natural. Lo más importante, sin embargo, es que en esa selección no influye el entorno físico, sino el social. A diferencia de los enfoques evolutivos que basan sus argumentos en la reciprocidad y en la gestión de la propia reputación, enfatizo que los primeros individuos humanos comprendían que las normas morales les hacían juzgar y ser juzgados. La preocupación inmediata de cada persona no era solo «lo que ellos piensan de mí», sino «lo que nosotros —yo incluido— pensamos de mí». La esencia de ese razonamiento consiste, por tanto, en una especie de orientación psicológica del tipo «el *nosotros* es más grande que el *yo*». Eso concede a las nociones morales una legitimidad especial a la hora de tomar decisiones personales.

El reto en el mundo contemporáneo surge al entender que las adaptaciones biológicas para la cooperación y la moralidad están principalmente orientadas hacia grupos pequeños y hacia grupos culturales homogéneos. Pero, desde la aparición de la agricultura, hace unos 10.000 años, las sociedades humanas han estado constituidas por individuos de distintas líneas políticas, étnicas y religiosas.

Como resultado, no queda tan claro quién conforma un «nosotros» y quién no pertenece al grupo. El consiguiente potencial de división conduce a tensiones sociales internas y, entre naciones, a la guerra, el caso extremo de conflicto. Pero, si queremos resolver nuestros principales problemas como especie, aquellos que amenazan a todas las sociedades humanas por igual, tal vez nos convendría empezar a pensar en toda la humanidad como en un gran «nosotros». IyC

PARA SABER MÁS

Cooperative hunting and meat sharing 400–200 kya at Qesem Cave, Israel. Mary C. Stiner et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, págs. 13.207-13.212, agosto de 2009.
¿Por qué cooperamos? Michael Tomasello et al. Katz Editores, 2010.
Young children enforce social norms. Marco F. H. Schmidt et al. en *Current Directions in Psychological Science*, vol. 21, págs. 232-236, julio de 2012.
A natural history of human morality. Michael Tomasello. Harvard University Press, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

La pequeña gran diferencia. Gary Stix en *IyC*, noviembre de 2014.
Raíces del espíritu cooperativo. Frans B. M. De Waal en *IyC*, noviembre de 2014.

A FIN DE CUENTAS, QUIZÁ LA GUERRA NO SE HALLE EN NUESTRA NATURALEZA

PARTE 2

Nosotros y ellos

¿POR QUÉ LUCHAMOS?

R. BRIAN FERGUSON :: *ILUSTRACIÓN DE YUKO SHIMIZU*



¿PRESENTA EL GÉNERO HUMANO, O TAL VEZ SOLO EL SEXO masculino, la inclinación natural a aniquilar iguales de otros grupos? ¿Posee, además de la actitud homicida, la propensión a tomar las armas que aboca a la violencia colectiva? La clave reside en el adjetivo «colectivo». El hombre lucha y mata por móviles personales, pero homicidio no es sinónimo de guerra. Esta es social y comporta la organización de grupos con la misión de matar a semejantes de otros bandos. Hoy, la controversia sobre las raíces históricas de la belicosidad gira en torno a dos posturas opuestas. Según una, la guerra está destinada a eliminar cualquier competidor potencial. En tal caso, el hombre siempre ha librado guerras, desde las mantenidas por nuestros ancestros comunes contra los chimpancés hasta nuestros días. La otra sostiene que solo se remonta a los últimos milenios, cuando los cambios sociales desataron la motivación y propiciaron la organización necesaria para matar en grupo. Las opiniones se dividen en dos bandos que el fallecido antropólogo Keith Otterbein denominaba halcones y palomas. (El debate guarda relación con la cuestión sobre si pueden detectarse tendencias bélicas instintivas en los chimpancés [*véase el recuadro de la página 68*].)

EN SÍNTESIS

¿Es la guerra consustancial a la especie humana o surgió a medida que las sociedades ganaron complejidad?

Los eruditos se dividen en dos bandos, que alguien calificó como halcones y palomas.

El estudio minucioso de las pruebas arqueológicas y de otro tipo indica que las matanzas colectivas derivaron de unas condiciones culturales surgidas en los últimos 12.000 años.

Si la guerra respondiese a una tendencia innata, se observarían indicios de belicosidad en las pequeñas sociedades prehistóricas. Los halcones sostienen que, en efecto, se ha dado con tales pruebas. «Allí donde se halla una buena descripción arqueológica de cualquier sociedad del planeta, se encuentran casi siempre indicios de guerra... Un cálculo prudente situaría las muertes por conflictos bélicos en un veinticinco por ciento», afirman el arqueólogo Steven A. LeBlanc y su colaboradora Katherine E. Register. Ante la magnitud del número de víctimas, los psicólogos evolutivos argumentan que la guerra ha servido como mecanismo de selección natural para que los más aptos se impongan a la hora de obtener pareja o recursos.

Ese enfoque ha ejercido una gran influencia. Según el politólogo Francis Fukuyama, los orígenes de la guerra y de los genocidios recientes se remontan decenas y cientos de milenios atrás, hasta nuestros antepasados cazadores y recolectores e incluso hasta los ancestros comunes con los chimpancés. Bradley Thayer, experto en relaciones internacionales, sostiene que la teoría de la evolución explica por qué la tendencia instintiva a proteger a la propia tribu se transformó con el tiempo en una tendencia grupal hacia la xenofobia y el etnocentrismo en el ámbito de las relaciones internacionales. Si la guerra es la manifestación natural de un odio instintivo, ¿para qué buscar más respuestas? Si la naturaleza humana es proclive a aniquilar a los extranjeros, ¿por cuánto tiempo la podremos evitar?

En cambio, los antropólogos y arqueólogos del bando de las palomas ponen en duda esa teoría y mantienen que, si bien poseemos la obvia capacidad de guerrear, nuestro cerebro no está programado para identificar y matar a los extraños en el marco de conflictos colectivos. Según su hipótesis, los ataques homicidas en grupo no surgen hasta que las sociedades de cazadores y recolectores ganan en tamaño y complejidad, o hasta el advenimiento de la agricultura más tarde. La arqueología, complementada con el estudio antropológico de las tribus contemporáneas de cazadores y recolectores, nos permite descubrir los momentos y, hasta cierto punto, el contexto social que propició la aparición y proliferación de la guerra.

¿CUÁNDO COMENZÓ?

Para dilucidar los orígenes de la guerra, los arqueólogos buscan cuatro clases de pruebas. El arte rupestre muestra una de ellas. En pinturas paleolíticas de las cuevas de Cougnac, Pech Merle y Cosquer, en Francia, de unos 25.000 años de antigüedad, se aprecia lo que algunos expertos interpretan como personas atravesadas por lanzas, indicio de que ya guerreábamos en épocas tan remotas como el Paleolítico superior. Pero la hipótesis no escapa al debate. Hay quien aduce que algunas de las figuras incompletas de esas pinturas poseen cola y que las líneas curvas y onduladas que las atraviesan representan, más bien, una suerte de fuerza sobrenatural y no lanzas. (Otras pinturas halladas en el abrigo de Les Dogues en Ares del Maestre, Castellón, probablemente factura de agricultores asentados milenios después, plasman lo que sin duda son batallas y ejecuciones.)

Las armas constituyen la segunda prueba, si bien a veces los objetos pueden no ser lo que parecen. Sin ir más lejos, yo solía aceptar la presencia de mazas como prueba, hasta que supe de los ejemplares de piedra de Oriente Próximo. En casi todos, el orificio

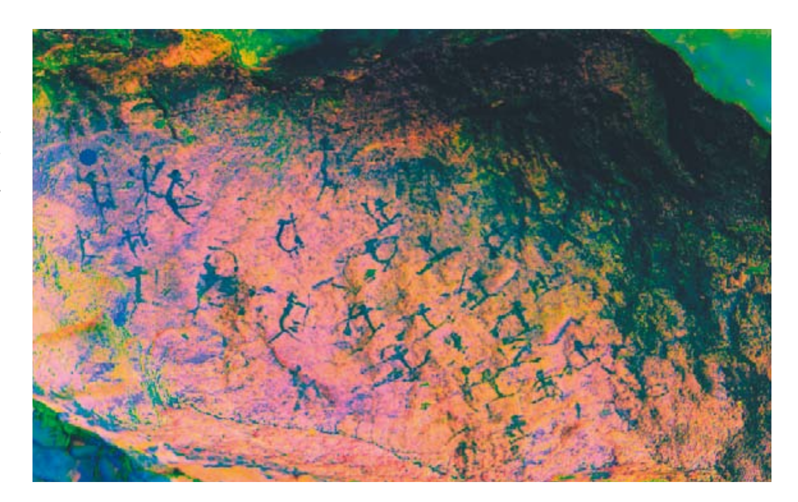
del mango es tan estrecho que este no habría resistido ni un golpe durante el combate. La maza es un símbolo de autoridad y unas normas arraigadas pueden resolver los conflictos sin necesidad de recurrir a la violencia. Por otro lado, es perfectamente posible ir a la guerra sin armas: en el sur de Alemania, cerca del 5000 a.C., unos aldeanos fueron masacrados con azuelas empleadas para la talla de la madera.

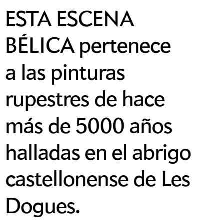
Aparte del arte y las armas, los arqueólogos buscan indicios en los antiguos asentamientos. Quien teme un ataque suele tomar precauciones. A veces, el registro arqueológico muestra cómo una población que vivía dispersa en zonas llanas se acabó concentrando en un enclave defendible. En la Europa del Neolítico, los poblados se rodeaban de terraplenes, si bien su finalidad no parece haber sido siempre defensiva y algunos podrían haber delimitado grupos sociales distintos.

Los restos óseos parecerían idóneos para averiguar cuándo nació la guerra, pero conviene ser cauto. Solo una de cada tres o cuatro lesiones por proyectil deja marcas en el hueso. Las puntas de piedra o hueso halladas junto a un esqueleto pudieron ser la causa de su muerte o haber sido depositadas allí por motivos ceremoniales. Las heridas sin cicatrizar del difunto pudieron ser fruto de un accidente, una ejecución o un homicidio. De hecho, este último pudo ser bastante común en el mundo prehistórico —pero no es una guerra—. Y no todos los combates eran a muerte. En algunos yacimientos funerarios se han descubierto cráneos con traumatismos contusos cicatrizados; pocos supusieron la causa del deceso. Los hallazgos apuntan hacia peleas con garrotes o mazos por disputas personales, asaz frecuentes en el registro etnográfico. Cuando el cráneo pertenece a una mujer, las fracturas podrían reflejar violencia doméstica.

En suma, las pruebas arqueológicas descubiertas en todo el mundo suelen ser ambiguas y de difícil interpretación, por lo que conviene contrastar varias antes de sospechar un conflicto bélico. Pese a ello, las campañas bien dirigidas (con múltiples excavaciones y una buena recuperación de materiales) nos deberían permitir concluir que, cuando menos, existen tales sospechas.

En definitiva: ¿hay indicios fundados de que el hombre ha guerreado durante toda la historia de la especie? Si las muestras de las que uno dispone destacan solo por la elevada frecuencia de lesiones *perimortem* (ocurridas en torno al momento de la muerte), no se tiene gran cosa a favor, pues es así como se extraen conclusiones como que el 25 por ciento de las muertes son fruto de la violencia. Ahora bien, los malentendidos resultan de la caprichosa elección de noticias que hacen los grandes medios de comunicación. Cualquier hallazgo de una antigua matanza salta a los titulares, pero se ignoran las incontables excavaciones donde no hay signos de violencia. Si analizamos con detalle los estudios que abarcan una zona y un tiempo concretos y nos preguntamos cuántos muestran indicios de guerra, la visión es muy distinta. La guerra dista de estar omnipresente y no se remonta a los albores del registro arqueológico: tuvo un comienzo.





ESTA ESCENA BÉLICA pertenece a las pinturas rupestres de hace más de 5000 años halladas en el abrigo castellonense de Les Dogues.

TOMADO DE «IDENTIFICATION OF PLANT CELLS IN BLACK PIGMENTS OF PREHISTORIC SPANISH LEVANTINE ROCK ART BY MEANS OF A MULTI-ANALYTICAL APPROACH: A NEW METHOD FOR SOCIAL IDENTITY MATERIALIZATION USING *CHAÎNE OPÉRATOIRE*». ESTHER LÓPEZ-MONTALVO ET AL. EN *PLOS ONE*, VOL. 1, N.º 2, ART. N.º E0172225, 16 DE FEBRERO DE 2017

LAS PRIMERAS HOSTILIDADES

Un buen número de arqueólogos sitúa su origen en ciertas regiones durante el Mesolítico, iniciado tras la última glaciación, alrededor del 9700 a.C., cuando los cazadores y recolectores europeos empiezan a asentarse y fundan sociedades más complejas. Pero no existe una respuesta sencilla. La guerra apareció en momentos y lugares distintos. Durante medio siglo, los arqueólogos han coincidido en que las muertes violentas halladas en Yebel Sahaba, a orillas del Nilo, en el norte de Sudán, pudieron ser anteriores, en torno al 12.000 a.C. Allí, la dura competencia entre grupos sedentarios de cazadores y recolectores en una zona antaño rica pero entonces en declive pudo desatar el conflicto.

En fecha posterior, los asentamientos, las armas y los enterramientos hallados en el norte del Tigris revelan indicios de hostilidades entre poblados de cazadores y recolectores entre 9750 y 8750 a.C. Cerca de allí se fundarían los primeros poblados fortificados conocidos en sociedades agrícolas durante el séptimo milenio y tendría lugar la primera conquista por la fuerza de un centro urbano entre 3800 y 3500 a.C. Para entonces, la guerra ya era común en Anatolia, en parte extendida por los conquistadores procedentes del norte del Tigris.

En cambio, no se han hallado pruebas convincentes antes del 3200 a.C. en los enclaves, armas y restos óseos desenterrados en el Levante meridional (desde Sinaí hasta el sur de Líbano y Siria). En Japón son escasas las muertes violentas por cualquier causa en grupos de cazadores y recolectores entre 13.000 y 800 a.C.

Tras la difusión del cultivo del arroz por anegamiento, alrededor del 300 a.C., se ha observado más de un caso de muerte violenta en diez yacimientos. En lugares bien estudiados de Norteamérica se han hallado traumatismos óseos muy antiguos, que parecen ser resultado de disputas personales, no de conflictos colectivos. De un yacimiento de Florida se tienen pruebas de matanzas en torno al 5400 a.C. Lo mismo ocurrió hacia el 2200 a.C. en zonas de la costa noroeste del Pacífico, aunque en el sur de las Grandes Llanuras se conoce solo una muerte violenta anterior al 500 d.C.



R. Brian Ferguson es profesor de antropología en la Universidad Rutgers en Newark. Ha dedicado su carrera a explicar el origen de la guerra.

¿Y nuestros primos, los chimpancés?

Los antropólogos estudian si los primates más afines a nosotros muestran una propensión instintiva hacia las matanzas colectivas

Si pretendemos ahondar en la cuestión de la predisposición humana hacia la guerra, debemos mirar más allá de nuestro hombro y examinar a nuestros parientes, los chimpancés. Tras años de estudio, estoy ultimando un libro sobre el tema: *Chimpanzees, «War» and History*. Entrecomillo «guerra» porque el conflicto entre grupos de chimpancés, aunque a veces colectivo y mortal, carece de las dimensiones sociales y cognitivas propias de las hostilidades humanas.

En nuestros conflictos, los oponentes suelen consistir en múltiples grupos autóctonos que actúan unidos por una amplia variedad de formas de organización política. La guerra está impulsada por sistemas y valores específicos de índole cultural que generan un profundo sentimiento de «ellos contra nosotros». No se han hallado conceptos sociales análogos en los primates. Pese a esa distinción, hay quien sostiene que los chimpancés poseen la inclinación natural a aniquilar a los forasteros, heredada del último ancestro en común con nosotros —un impulso que todavía empuja subliminalmente al hombre hacia los conflictos letales con individuos ajenos a su comunidad.

Mi trabajo rebate la idea de que los chimpancés machos posean la tendencia innata a matar a los intrusos y argumenta que sus formas más extremas de violencia podrían ir ligadas a circunstancias concretas, derivadas de la alteración de sus vidas a raíz del contacto con los humanos. Defender esa postura me ha exigido revisar los informes sobre cada matanza de chimpancés. La conclusión que se extrae de su estudio es simple. El examen crítico de una recopilación reciente de matanzas ocurridas en 18 zonas de estudio —que suman 426 años de observaciones de campo— revela que de 27 matanzas entre grupos de adultos y adolescentes, observadas o inferidas, 15 resultaron de dos situaciones altamente conflictivas acaecidas en sendas zonas, entre 1974 y 1977 y entre 2002 y 2006.

Ambas situaciones suman nueve años de observaciones y en ellas el índice anual de muertes alcanzó 1,67. En los restantes 417 años de observaciones, la media anual se sitúa en 0,03. La pregunta es si los casos atípicos se explican por un comportamiento adaptativo evolucionado o son el resultado de una alteración de origen humano. Y mientras algunos biólogos evolutivos sostienen que las matanzas obedecen a un intento de reducir el número de machos en grupos rivales, los mismos datos demuestran que si restamos las muertes internas a las externas se obtiene una reducción de machos externos de tan solo un individuo cada 47 años, menos de uno en la vida media de un chimpancé.

A tenor de los estudios comparativos, mi conclusión es que la «guerra» entre chimpancés no guarda relación con una estrategia evolutiva, sino con una respuesta provocada por la perturbación humana. El análisis individual de cada caso demostrará que el chimpancé, como especie, no es un «simio asesino». La investigación también pone en entredicho la idea de que cualquier tendencia humana hacia la belicosidad pueda ser el legado de un ancestro remoto común.

¿POR QUÉ OCURRIÓ?

Entre las condiciones que favorecen el estallido de la guerra figuran la transición hacia el sedentarismo, el crecimiento demográfico a escala regional, la concentración de recursos preciados como el ganado, la creciente complejidad y jerarquización de la sociedad, el comercio con bienes de gran valor y el establecimiento de límites entre los grupos y las identidades colectivas. A veces tales condiciones se conjugan con cambios ambientales adversos. Por ejemplo, la guerra desatada en Yebel Sahaba pudo ser la respuesta a una crisis ecológica desencadenada a medida que el Nilo excavaba una garganta que acabó desecando los fértiles terrenos pantanosos y precipitó el éxodo de los pobladores. Posteriormente, siglos después del nacimiento de la agricultura, la Europa neolítica demostró que, cuando los hombres tienen más por lo que luchar, la sociedad comienza a organizarse de tal guisa que la prepara para la guerra.

Pero a la vista de las limitaciones que la arqueología impone, hemos de buscar respuestas en otras disciplinas. La etnografía (el estudio de las culturas, presentes y pasadas) ilustra esas condiciones previas. A grandes rasgos, las comunidades de cazadores y recolectores se dividen en «simples» y «complejas».

Las primeras se remontan a hace más de 200.000 años y han caracterizado las sociedades humanas durante la mayor parte de la existencia del hombre. En líneas generales, tales grupos cooperan y viven en bandas pequeñas, nómadas e igualitarias, que explotan grandes extensiones con una baja densidad de población y escasas posesiones.

Por su parte, las complejas viven en asentamientos fijos que acogen cientos de individuos. Establecen rangos sociales de clanes familiares e individuos afines, limitan el acceso a los recursos alimenticios por linajes y cuentan con un liderazgo más organizado. Los indicios de esa complejidad social se observan por primera vez durante el Mesolítico. En ocasiones, el florecimiento de las sociedades complejas de cazadores y recolectores marca la transición hacia la agricultura, la base del desarrollo de los Estados políticos. Además, tales comunidades solían librar guerras.

Ahora bien, los prerrequisitos para la guerra son solo una parte de la historia y no bastan para predecir su estallido. En el Levante meridional, por ejemplo, tales condiciones se cumplieron durante milenios sin que haya rastro de lucha.

¿A qué se debió, entonces, la ausencia de conflicto? Por lo visto, muchas sociedades también gozan de condiciones propicias para la paz. Multitud de disposiciones sociales impiden la guerra: los parentescos y los matrimonios intergrupales; la cooperación en la caza, la agricultura y el reparto de la comida; la flexibilidad en los acuerdos sociales que permiten la incorporación de los individuos a otros grupos; las normas que valoran la paz y estigmatizan el homi-

cidio; y el despliegue de medios reconocidos para resolver los conflictos. Tales mecanismos no conjuran las confrontaciones más graves, pero las canalizan y pueden evitar o limitar las muertes.

De ser así, ¿por qué tanto en los últimos hallazgos arqueológicos como en los relatos de exploradores y antropólogos, abundan los episodios sangrientos? Con el paso de los milenios, las condiciones propicias han ganado terreno cada vez en más lugares. Una vez desatadas, las hostilidades tienden a crecer y los más violentos toman las riendas a los moderados. Los Estados nacidos a lo largo de la historia han poseído la capacidad de militarizar a los pueblos que vivían en su periferia y a lo largo de sus rutas comerciales. Los cambios ambientales, como las sequías severas, crean o agravan las condiciones propicias para la guerra y, a veces, la paz no se restaura cuando las inclemencias amainan. Un episodio destacable fue la intensificación del Período cálido medieval, entre 950 y 1250 d.C., y su rápido giro a la Pequeña Edad de Hielo, que comenzó hacia 1300 d.C. Durante esa época estallaron con frecuencia hostilidades en zonas de América y del Pacífico, entre otras regiones. La guerra ya estaba arraigada en casi todo el mundo, pero creció en magnitud y el número de víctimas no cesó de aumentar.

Entonces llegaría la colonización europea, que transformó, intensificó y, a veces, desató las guerras indígenas en todo el planeta. Las confrontaciones no solo derivaron de la conquista y la resistencia. Los autóctonos iniciaron guerras intestinas, acuciados por las potencias coloniales y los bienes que ofrecían.

El choque entre los viejos Estados y los nuevos en expansión, con los consiguientes conflictos, motivaron la formación de identidades y divisiones tribales. Las regiones que escaparon al control colonial también sufrieron cambios como consecuencia de los efectos a larga distancia del comercio, las enfermedades y el desplazamiento de la población —lo que, en conjunto, provocó guerras—. Los Estados también sembraron el conflicto entre los lugareños imponiendo instituciones políticas muy distintas a las amorfas identidades autóctonas y las escasas autoridades con que a menudo se encontraban en sus incursiones coloniales.

Para respaldar la idea de que la disposición a enzarzarse en hostilidades colectivas se remonta a la aparición del Estado, los académicos suelen buscar pruebas en «zonas tribales», donde la guerra «salvaje» parece endémica y suele contemplarse como una expresión de la naturaleza humana. Pero si analizamos atentamente los casos conocidos de violencia entre indígenas que aporta el registro histórico, la perspectiva es distinta.

El caso de los cazadores y recolectores del noroeste de Alaska a finales del siglo XVIII y todo el siglo XIX demuestra la falacia de proyectar la etnografía de individuos contemporáneos en el pasado lejano de la humanidad. Las sangrientas guerras que acarrearon masacres de aldeas perduran en relatos orales prolijos y esa violencia mortal se cita como prueba de belicismo entre cazadores y recolectores antes de la expansión de los Estados.

La arqueología, empero, aunada con la historia de la región, llega a conclusiones muy diferentes. No hay indicios bélicos en los vestigios de las culturas simples de cazadores y recolectores de Alaska. Los primeros signos aparecen entre el 400 y 700 d.C., probablemente como resultado del contacto con inmigrantes de Asia o el sureste de Alaska, donde la guerra ya estaba instituida. Pero aquellos conflictos fueron limitados en alcance y probablemente en crudeza.

Bajo las condiciones climáticas favorables que imperaron alrededor del 1200 d.C., tales grupos de cazadores de ballenas adquirieron una complejidad social cada vez mayor, con poblaciones más densas y sedentarias y la expansión del comercio a gran distancia. Al cabo de dos siglos, la guerra se había convertido en un fenómeno frecuente. Esos conflictos posteriores (los narrados en los relatos orales) se vinculan a la expansión de los Estados a medida que las avanzadas comerciales rusas en Siberia extendían una vasta red de intercambio. El ambiente hostil derivó en una extrema territorialidad y en la centralización de grupos tribales complejos al otro lado del estrecho de Bering.

NO ERA UNA REALIDAD COTIDIANA

El debate sobre la guerra y la naturaleza humana no se resolverá pronto. La idea de que la violencia desenfrenada causante de multitud de víctimas fue ubicua en la prehistoria cuenta con no pocos detractores. Pero para quienes están convencidos de que el hombre tiende por naturaleza al belicismo presenta una resonancia cultural. Como diría mi madre: «¡Echa un vistazo a la historia!». Y a la vista de las pruebas, las palomas tienen las de ganar. En general, los hallazgos más antiguos ofrecen escasos indicios, si es que alguno, de que la guerra fuera algo cotidiano.

El hombre es el hombre. Combate y a veces mata. Siempre ha tenido la capacidad de librar guerras, si las condiciones y la cultura así lo dictaban. Pero esas condiciones y la belicosidad se tornaron más frecuentes solo en los últimos 10.000 años (y, en la mayoría de los casos, en épocas mucho más recientes). Las altas cifras de homicidios que suelen describir la historia, la etnografía y en ocasiones la arqueología contrastan con los hallazgos más antiguos descubiertos en todo el planeta. Los huesos y los artefactos más remotos concuerdan con el título de un artículo que Margaret Mead publicó en pleno 1940: «La guerra es un mero invento, no una necesidad biológica». IyC

PARA SABER MÁS

War in the tribal zone: Expanding states and indigenous warfare. Editado por R. Brian Ferguson y Neil L. Whitehead. School of American Research Press, 1992.
Beyond war: The human potential for peace. Douglas P. Fry. Oxford University Press, 2007.

EN NUESTRO ARCHIVO

¿Se halla la cultura en los genes? Régis Meyran en *IyC*, octubre de 2013.
Evolución de la violencia humana. Jürg Helbling en *MyC* n.º 72, 2015.
Los orígenes evolutivos de la venganza. Nereida B. Guerra en *IyC*, agosto de 2018.

PARTE 3

Más allá de nosotros

LA HUMANIDAD ESTÁ CAMBIANDO EL CURSO DE LA EVOLUCIÓN

DARWINISMO URBANO

MENNO SCHILTHUIZEN :: *ILUSTRACIÓN DE ARMANDO VEVE*





UAU!», EXCLAMÓ MI AMIGO FRANK ALZANDO LAS MANOS AL aire y casi volcando su vaso con el gesto. Allí, en el jardín de mi casa, en Leiden, me estaba mostrando cómo un halcón remontaba el vuelo con una paloma entre las garras hacia su atalaya en lo alto del hospital donde trabaja, escena que se repetía una o dos veces al día. Segundos más tarde, vi caer plumas de la desdichada tras el cristal de su consultorio.

El halcón peregrino es una de tantas aves que, de un tiempo a esta parte, se han instalado en la ciudad. Habituado a cazar en acantilados, ha cambiado con gusto los peñascos por los rascacielos y los arrendajos por las palomas, a medida que hemos ido erigiendo más y más riscos artificiales en forma de campanarios, chimeneas o torres de oficinas. En algunas partes de Europa y Norteamérica, la mayoría anida ya en las ciudades.

EN SÍNTESIS

Especies tan dispares como los caracoles, los dientes de león y los peces se adaptan a la ciudad con soluciones sorprendentes.

En muchos casos, evolucionan más rápido que en su hábitat natural.

Como todas las urbes del mundo ejercen las mismas presiones evolutivas, es posible que las especies que las habitan acaben pareciéndose más entre sí.

Muchas otras jamás lograrán adaptarse a las adversas condiciones urbanas, así que habrá que protegerlas.

Esas semejanzas accidentales con el medio natural atraen cada vez más flora y fauna a las metrópolis. Las cucarachas gigantes, de naturaleza cavernícola, no tienen problemas para adaptarse a los rincones oscuros y húmedos de nuestros hogares. En las márgenes de las carreteras donde se vierte sal en invierno, brotan plantas nativas de las playas. Los ágiles dedos de los mapaches, muy parecidos a los nuestros, son ideales para revolver en los cubos de basura y de compostaje. *Homo sapiens* ha levantado vastos asentamientos en los cinco continentes: más de 600 ciudades superarán el millón de habitantes en 2030. Nunca antes una especie había generado un hábitat nuevo para otras a escala planetaria.

Al mismo tiempo está ocurriendo algo aún más sorprendente. La ciudad (con su rostro de ladrillo, vidrio y acero, el pulso frenético de los vehículos que circulan por sus venas, su refulgente luz artificial y las sustancias que rezuman por sus poros) es un entorno de alto riesgo, pero pródigo en recompensas. Pese a su severidad, ofrece muchas ventajas, en especial los alimentos y los recursos que acumulamos. Al igual que en los ambientes naturales hostiles, como los desiertos, los manantiales de aguas sulfurosas y las cavernas profundas, la combinación de riesgo y oportunidad determina la evolución de la fauna y la flora que coloniza la ciudad. Los estudios lo demuestran: las urbes son hervideros evolutivos, lugares que fuerzan una adaptación rápida y generalizada de los seres vivos.

CARACOLES CALLEJEROS

Para contemplar la evolución urbana, basta con emprender una caminata sobre el terreno, que comienza bajando a la calle. Mi humilde jardín ofrece un buen ejemplo: debo admitir que, para ser biólogo, su estado es deplorable —como se empeña en recordarme Frank—; entre las viejas baldosas brota toda clase de hierbajos; en una esquina, languidece un rosal; y en la otra, se yergue solitaria una hortensia. No hay mucho más, aparte de unas enredaderas que trepan con vigor por el muro.

Estas plantas trepadoras precisamente ocultan uno de mis ejemplos favoritos de evolución urbana. Despego con cuidado las hojas de la pared para mostrarle a Frank los caracoles rayados que se alimentan de las ramas muertas de años anteriores. Son ejemplares de *Cepaea nemoralis*, especie oriunda de Europa e introducida en Norteamérica, cuyas conchas

AFINCADOS EN LA URBE: Las semillas de los dientes de león urbanos cambian de forma para caer directamente sobre la minúscula parcela de tierra fértil donde brota la planta madre. La araña de los puentes, que en la naturaleza rehúye la luz, teje ahora su tela bajo las farolas de la ciudad.





MARCEL VAN DEN BERGH

pueden lucir colores y dibujos distintos. Las variaciones están codificadas en su ADN: los de mi jardín son amarillo pálido y están engalanados con cinco espirales negras.

¿Por qué amarillo? El microclima urbano nos da la respuesta. En la ciudad suele hacer más calor que en el campo, porque las edificaciones y las calles absorben la radiación solar. Ello, sumado al calor generado por la actividad de millones de personas y máquinas, crea una burbuja de aire caliente. En el centro de un municipio pequeño como Leiden, la temperatura del aire puede ser dos o tres grados mayor que en las afueras; en las grandes urbes como Nueva York o Tokio, más de diez. Para los caracoles, que deben soportar semanas de sequía estival adheridos a las paredes, el exceso de calor puede resultar mortífero, sobre todo si la concha es negra y absorbe demasiada radiación. La selección natural hace que se tornen más claros; fuera del límite municipal, es más habitual hallar conchas de tonos rojizos o parduzcos.

Frank y yo salimos al callejón al que da mi jardín y enseguida nos topamos con un segundo ejemplo de evolución urbana: los dientes de león que crecen en las grietas de la calzada. Algunos están en plena floración, mientras que otros exhiben su etéreo pompón blanco, el vilano. En condiciones naturales, el viento arrastra las semillas y las deposita en otros lugares, donde germinarán lejos de sus progenitores y hermanos. Este mecanismo evita la competencia, pero es menos probable que surta efecto en la ciudad, porque el pedazo de suelo donde crece la planta madre suele ser la única tierra en un amplio radio, y las semillas que se dispersen lejos caerán con más facilidad sobre el asfalto o el hormigón estériles. Así pues, convendría que pesaran más, para que cayesen directamente en suelo fértil. Eso es exactamente lo que descubrió Arathi Seshadri, bióloga de la Universidad Estatal de Colorado, en 2012: los penachos de las semillas del diente de león urbano son más largos y caen el doble de rápido que en las praderas.

Curiosamente, la adaptación se asemeja a la de *Hypochaeris radicata*, una planta emparentada con la anterior, en respuesta esta vez a un paraje natural adverso: en los diminutos islotes de la costa occidental de Canadá, las semillas de esta asterácea aterrizan más rápido que en tierra firme; en su caso, el riesgo de caer al mar fue la razón del cambio.

LUCES DE BOHEMIA

Proseguimos el paseo, salimos del callejón y cruzamos la avenida hasta llegar al río, el Galgewater («agua del patíbulo», en holandés). Las casas flotantes se alinean en el canal donde antaño estuvo la vivienda natal de Rembrandt. Al acercarnos al puente, vemos telarañas por doquier: entre los postes de las barandillas, en las ventanas de las casas flotantes... Las redes relucen al sol, con tamaños que van desde un plato de postre a una rueda de bicicleta, y de ellas penden los restos resecos de polillas y mosquitos, en lúgubre recuerdo de la horca que dio nombre al lugar.

A las arañas de los puentes (*Larinioides sclopetarius*) no se las ve por ningún lado. De hábitos nocturnos, huyen de la luz diurna y aguardan hasta la noche para salir a devorar a sus presas. Pero estas telarañas las han tejido al pie de las farolas del puente, y es que,



Menno Schilthuizen es director de investigaciones en el Centro de Biodiversidad Naturalis y profesor de biología evolutiva en la Universidad de Leiden.



TÉCNICAS DE SUPERVIVENCIA: Estas palomas, nada temerosas del autor, tendrán que aprender a esconderse de los halcones peregrinos, cada vez más habituales en la ciudad. Los caracoles que pueblan los muros lucen conchas más claras, que absorben menos calor.



MARCEL VAN DER BERGH

tras su migración a la ciudad, han preferido dejar a un lado sus costumbres porque las luces atraen a los insectos. En los años noventa, la aracnóloga austríaca Astrid Heiling determinó que las *L. sclopetarius* urbanas sienten un apego innato por la luz artificial, aunque sigan evitando la del sol.

Por el contrario, la adaptación inversa se da al menos en una de las especies que son presa de la araña. Para un insecto, la atracción por las bombillas resulta a menudo fatídica: o se abrasa; o muere extenuado volando en círculos sin probar bocado ni aparearse; o acaba en las fauces de una araña. Muchos entomólogos creen que la atracción hacia la luz es tan fuerte que es imposible desterrarla, aun a costa de la altísima mortalidad.

En cambio, el entomólogo Florian Altermatt no lo tenía tan claro. Se propuso estudiar la polilla *Yponomeuta cagnagella*, y con ese fin recolectó cientos de orugas en el centro de Basilea, expuesto a la contaminación lumínica, y otras tantas en la oscuridad del bosque, fuera de la ciudad. Las crió a todas en el laboratorio y a cada una le hizo una marca para saber su procedencia, urbana o rural. A continuación, soltó más de mil en una enorme jaula oscura provista de un fluorescente en un extremo. Tal y como esperaba, las polillas campestres se acercaron a la fuente luminosa, mientras que las urbanas le prestaron menos atención y se posaron en otros puntos de la jaula. Altermatt llegó a la conclusión de que estas habían adquirido cierta aversión a la luz artificial.

EVOLUCIÓN ACELERADA

Los ejemplos de darwinismo urbano que encontramos en nuestro corto paseo son un fenómeno presente en los ecosistemas de todas las ciudades del mundo. Además del microclima urbano, las superficies impenetrables y la contaminación lumínica, la fauna urbana se enfrenta a otros muchos desafíos: el ruido, la contaminación química y el tránsito rodado,

por citar algunos. Los biólogos que estudiamos la evolución urbana hemos observado muchos casos de adaptación a este entorno hostil. Algunas criaturas son capaces incluso de sobreponerse a las sustancias tóxicas, un obstáculo en apariencia insalvable. El equipo de Andrew Whitehead, de la Universidad de California en Davis, ha descubierto que *Fundulus heteroclitus*, un pequeño pez de estuario de la costa oriental de Estados Unidos, ha adquirido tolerancia a concentraciones de policlorobifenilos ocho mil veces más altas de lo que normalmente sería mortal para él.

Con todo, los factores biológicos quizá sean aún más importantes que los fisicoquímicos. Los nuevos residentes urbanos se codean con una variopinta cohorte de especies foráneas, introducidas accidental o deliberadamente: plantas ornamentales, cultivos y plagas agrícolas, animales domesticados y todos los insectos y malas hierbas que traemos adheridos a la ropa o a los vehículos. El conjunto conforma un ecosistema de organismos que se ven obligados a convivir sin haber tenido la oportunidad de adaptarse unos a otros, una mescolanza heterodoxa que propicia la innovación en las artes de la defensa y del ataque: mientras las cotorras exóticas pasan a comer las semillas de plantas de ciudad, las aves urbanas se vuelven inmunes a los parásitos importados.

Esta potente combinación de adversidades y oportunidades hace que las especies urbanas evolucionen con rapidez. Se dan adaptaciones notables en cuestión de lustros, a veces incluso en pocos años. Los peces *F. heteroclitus* se volvieron tolerantes a los policlorobifenilos en apenas unas decenas de generaciones, la máxima velocidad a la que en teoría puede evolucionar esta especie.

Muchos ponen en duda que la evolución pueda ser tan rápida. A fin de cuentas, Darwin escribió: «Nada vemos de estos cambios lentos y progresivos hasta que la mano del tiempo ha marcado el transcurso de las edades». Sin embargo, si la presión selectiva se intensifica, la evolución puede ser más rápida de lo que Darwin creía, sobre todo en el caso de los organismos que procrean varias veces al año.

En un metanálisis de más de 1600 estudios de casos, publicado el año pasado en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, un grupo dirigido por Marina Alberti, de la Universidad de Washington, constata indicios claros de que la urbanización aumenta el ritmo de la evolución, incluso hasta duplicarlo. Además, señala a la introducción de especies exóticas como uno de los aceleradores más importantes.

Porque esté acelerándose la evolución urbana, ¿podemos afirmar que está todo en orden? ¿Se adaptarán todas las especies a los hábitats alterados por el hombre, cada vez más extendidos por la Tierra en esta era geológica, el Antropoceno? Lamentablemente, no. Solo algunas serán capaces de colonizar las ciudades y prosperar. Por cada historia de éxito, habrá una docena de extinciones urbanas: las especies inadaptadas, condenadas a desaparecer. En el futuro urbanizado, muchísimas seguirán necesitando las reservas, las leyes y otras salvaguardas que permitan conservar intacto su hábitat.

Aun así, los ecosistemas urbanos representan una novedosa e interesante fase en la historia de la vida en nuestro planeta. Nunca antes un hábitat tan hostil había estado tan extendido en el mundo. Todas las ciudades comparten unas características comunes a las que la flora y la fauna tendrán que adaptarse de la misma manera. Quizá los naturalistas aficionados puedan ayudar a los profesionales a estudiar el ritmo y la extensión de estos cambios. Numerosas especies urbanas, como la paloma, el trébol blanco y el diente de león, son cosmopolitas; una comunidad mundial de científicos urbanitas podría dedicarse a observar su evolución. (De hecho, fueron voluntarios quienes descubrieron los caracoles amarillos, a través de la aplicación para móviles SnailSnap, que ya reúne datos de más de 12.000 caracoles de ciudades holandesas.)

Nunca antes un hábitat tan hostil había estado tan extendido en el mundo. Todas esas intrépidas criaturas quizás acaben pareciéndose más entre sí, al adaptarse en paralelo a unas condiciones urbanas análogas y al adoptar las mismas soluciones para los mismos problemas

Todas esas intrépidas criaturas quizás acaben pareciéndose más entre sí, al adaptarse en paralelo a unas condiciones urbanas análogas y al adoptar las mismas soluciones para los mismos problemas. La homogeneización global podría ser la característica que distinga la evolución urbana de la evolución «natural»; el distintivo de la influencia humana sobre las demás especies. Como esta situación no tiene precedentes ecológicos, lo único que cabe hacer es conjeturar. IyC

PARA SABER MÁS

Darwin comes to town: How the urban jungle drives evolution. Menno Schilthuizen. Picador, 2018.

The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. Kaitlyn M. Gaynor et al. en *Science*, vol. 360, págs. 1232-1235, junio de 2018.

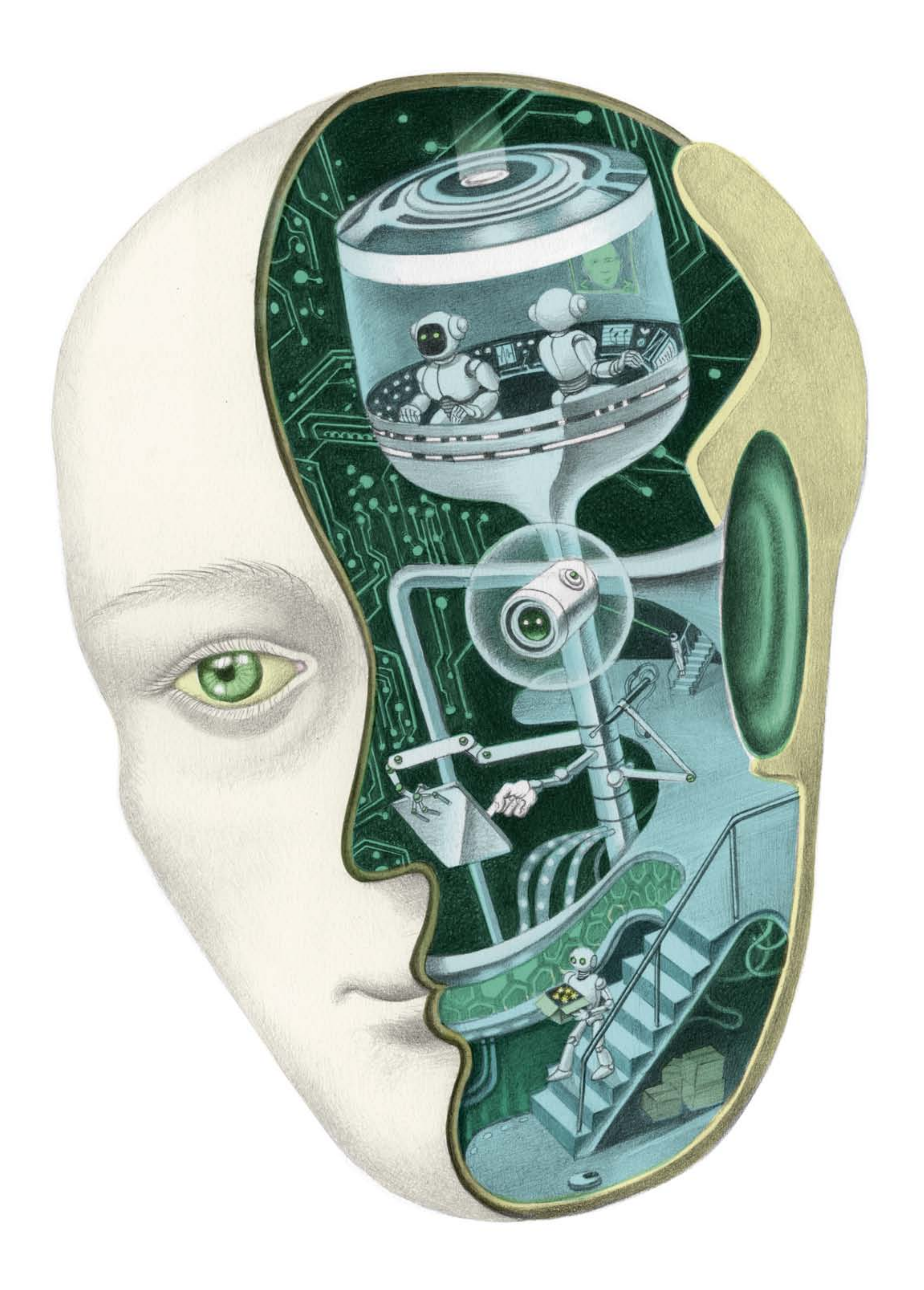
LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL SERVIRÁ A NUESTRA ESPECIE, NO LA CONTROLARÁ

PARTE 3

Más allá de nosotros

NUESTROS DOBLES DIGITALES

PEDRO DOMINGOS :: *ILUSTRACIÓN DE ARMANDO VEVE*





Somos los únicos animales que construyen máquinas. Las herramientas convierten nuestras manos en apéndices más versátiles. Los aviones nos proveen de alas. Los ordenadores nos dotan de mayor cerebro y capacidad de memoria. Y ahora estamos creando técnicas que pueden evolucionar por sí mismas porque hemos programado en ellas la capacidad de aprender mediante el esfuerzo y gracias a los datos. ¿Nos suplantarán a la larga? ¿O, por el contrario, perfeccionarán nuestra humanidad como nunca se ha hecho?



Pedro Domingos es profesor de ciencias de la computación en la Universidad de Washington y autor de *The master algorithm* (Basic Books, 2015). Es miembro de la Asociación para el Avance de la Inteligencia Artificial.

El aprendizaje automático nació en la década de 1950 gracias a Frank Rosenblatt, que construyó una neurona electrónica que aprendió a reconocer dígitos, y a Arthur Samuel, cuyo programa del juego de damas se entrenó jugando contra sí mismo hasta que logró derrotar a varias personas. Pero solo en el último decenio ha conseguido despegar este campo y nos ha proporcionado vehículos autónomos y asistentes virtuales que, hasta cierto punto, entienden nuestras órdenes.

Cada año inventamos miles de nuevos algoritmos (secuencias de instrucciones que dictan a los ordenadores qué hacer). El sello distintivo de las máquinas autodidactas no es, en cambio, una programación detallada. Les fijamos objetivos generales del tipo «aprende a jugar a las damas». Como las personas, mejoran con la experiencia. Estos algoritmos de aprendizaje suelen agruparse en cinco categorías principales, cada una inspirada en un campo científico.

Una imita la selección natural mediante algoritmos evolutivos. En el Laboratorio de Máquinas Creativas de la Universidad de Columbia se han construido robots primitivos que tratan de reptar o de volar; las especificaciones de aquellos con mejor rendimiento se mezclan y mutan periódicamente para engendrar la siguiente generación mediante impresión en 3D. Partiendo de máquinas ensambladas al azar que apenas pueden moverse, se crean al cabo de varios miles de generaciones arañas y libélulas robóticas.

Pero la evolución es lenta. El aprendizaje profundo, el paradigma del aprendizaje automático más popular en la actualidad, se inspira en el cerebro. Se crea un modelo matemático muy simplificado del funcionamiento de una neurona, se construye una red de miles o millones de estas unidades y se deja que se instruya mediante el fortalecimiento gradual de las conexiones entre las neuronas que se excitan al unísono durante la observación de los datos. Estas redes neuronales reconocen caras, comprenden el lenguaje hablado, traducen idiomas.

El aprendizaje automático también se sirve de la psicología. Al igual que las personas, los algoritmos basados en analogías resuelven problemas nuevos buscando otros similares almacenados en la memoria. Automatizan los servicios de atención al cliente y hacen recomendaciones según las preferencias de los clientes del comercio electrónico.

Las máquinas también pueden aprender mediante la automatización del método científico. Para inducir una nueva hipótesis, los alumnos simbólicos invierten el proceso de deducción: si se sabe que Sócrates es humano, ¿qué más se necesita para inferir que es mortal? Bastaría con saber que los humanos son mortales, una hipótesis que puede entonces confirmarse examinando si los demás humanos en los datos son también mortales. La bióloga robot Eva, de la Universidad de Manchester, ha usado este enfoque para descubrir un posible fármaco contra la malaria. Partiendo de datos sobre la enfermedad y un conocimiento básico de la biología molecular, formulaba hipótesis sobre los compuestos que podrían funcionar, diseñaba experimentos para probarlos y llevaba a cabo los ensayos en un laboratorio robótico; revisaba

o descartaba las hipótesis y repetía el procedimiento hasta satisfacer el objetivo.

Por último, el aprendizaje puede depender solo de principios matemáticos, de los cuales el más importante es el teorema de Bayes, que establece que deberíamos asignar a las hipótesis unas probabilidades iniciales basadas en nuestro conocimiento y luego aumentarlas cuando concuerdan con los nuevos datos y disminuirlas cuando no. Para predecir todas las hipótesis cuentan, pero con más peso las más probables. Así, las máquinas bayesianas efectúan ciertos diagnósticos médicos con mayor precisión que los médicos. También constituyen el núcleo de muchos filtros de correo basura y del sistema que emplea Google para seleccionar la publicidad que muestra a los usuarios.

Cada uno de estos cinco tipos de aprendizaje automático tiene sus puntos fuertes y débiles. El aprendizaje profundo es bueno para lo relacionado con la percepción (el reconocimiento del habla, la visión artificial), pero no para los problemas cognitivos. Con el aprendizaje simbólico ocurre lo contrario. Los algoritmos evolutivos son capaces de lidiar con problemas más difíciles que los que pueden resolver las redes neuronales, pero consumen mucho tiempo. Los métodos analógicos pueden aprender a partir de un reducido número de casos, pero se quedan confusos cuando se les aporta demasiada información sobre cada uno. El aprendizaje bayesiano resulta más útil cuando maneja pequeñas dosis de información, pero su coste se vuelve prohibitivo con grandes conjuntos de datos.

Estas disyuntivas incitan a la combinación de los mejores elementos de cada paradigma. Nuestra meta consiste en crear un algoritmo maestro que pueda aprender todo cuanto pueda extraerse de los datos y derivar de ello cuanto conocimiento sea posible.

Diversos grupos de investigación, incluido el que dirijo en la Universidad de Washington, han propuesto métodos que aúnan dos o más paradigmas de aprendizaje automático. Dado que se avanza científicamente a trompicones, resulta difícil predecir cuándo se concluirá la unificación completa, el algoritmo maestro. Pese a todo, la consecución de esta meta no nos conducirá a una nueva raza dominante de máquinas. Al contrario: acelerará el progreso humano.

¿TOMARÁN EL PODER LAS MÁQUINAS?

Una vez que logremos desarrollar el algoritmo maestro y le suministremos las vastas cantidades de datos que cada uno generamos, los sistemas de inteligencia artificial aprenderán modelos muy detallados de cada sujeto: gustos y hábitos, recuerdos y aspiraciones, creencias y personalidades.

A muchos les inquieta que las máquinas dotadas de estas capacidades utilicen su recién adquirido conocimiento para robarnos los puestos de trabajo, esclavizarnos o exterminarnos. Pero es muy poco probable que ocurra, pues las máquinas no poseen voluntad propia. Los algoritmos de inteligencia artificial (IA) se rigen por objetivos que programamos nosotros, del estilo «traza la ruta más corta del hotel al aeropuerto». Estos algoritmos se distinguen de los normales por la gran flexibilidad con que averiguan cómo se alcanzan las metas que les fijamos; no tienen que ejecutar una serie predefinida de pasos. Aunque mejoren con la experiencia, los objetivos no sufrirán cambios. Las soluciones que no avanzan hacia la meta se descartan de manera automática. Además, que la solución producida por la máquina satisface los objetivos habrá de comprobarlo siempre una persona. También podremos verificar que no viola ninguna de las restricciones que le impongamos, como «obedece las normas de circulación».

Ahora bien, cuando imaginamos una IA, tendemos a proyectar en ella cualidades humanas, como la voluntad y la consciencia. A muchos nos son más familiares las IA humanoides que la miríada de otros tipos que desempeñan su función entre bambalinas. Pero la inteligencia artificial no es más que la capacidad de resolver problemas difíciles, una tarea para la que no se requiere libre albedrío. Es tan probable que se vuelvan contra nosotros como que una de nuestras manos nos propine una bofetada. Al igual que cualquier otra tecnología, las IA siempre serán extensiones de nosotros mismos. Por lo tanto, cuanto más potentes las construyamos, más nos beneficiarán.

¿Cómo será nuestro futuro con la IA? Las máquinas inteligentes nos desplazarán en muchos trabajos, pero los efectos sobre la sociedad seguramente no diferirán demasiado de los de anteriores formas de automatización. Hace doscientos años, la mayoría se dedicaba al campo. Hoy, las máquinas han reemplazado a casi todos en la agricultura sin provocar un desempleo masivo. Los agoreros esgrimen que esta vez es distinto porque las máquinas están sustituyendo a nuestros cerebros, no solo a nuestros músculos. Pero el día en que las IA puedan desempeñar todas las tareas de que somos capaces aún se halla muy lejos, si es que llega alguna vez. En el futuro previsible, las IA y los seres humanos serán buenos en cosas distintas. El efecto primario del aprendizaje automático será una reducción enorme del coste de la inteligencia. Esta democratización aumentará la variedad de usos económicamente factibles de la inteligencia; se generarán así nuevos empleos y se transformarán los antiguos para conseguir más con la misma cantidad de trabajo humano.

Y está la «singularidad», divulgada por Ray Kurzweil: un progreso tecnológico que no deja de acelerarse con máquinas que aprenden a construir mejores máquinas que construyen otras aún mejores, y así sucesivamente. Pero las leyes de la física imponen límites estrictos a la potencia que incluso un ordenador cuántico puede tener y, en ciertos aspectos, no nos hallamos lejos de alcanzarlos. El progreso de la inteligencia artificial, como el de cualquier otro ámbito, acabará estancándose.

Según otra visión popular entre los futuristas, los modelos informáticos de nosotros mismos llegarán a tal grado de perfección que serán casi indistinguibles de la persona auténtica. Nos podríamos subir a la nube y vivir para siempre como fragmentos informá-

EN SÍNTESIS

La persecución de la inteligencia artificial (IA) es parte de la evolución humana. La siguiente etapa de la automatización requerirá la creación de un «algoritmo maestro» que integrará en un único paradigma unificado los cinco métodos principales mediante los cuales las máquinas aprenden hoy.

La tecnología es una mera extensión de las capacidades humanas. Las máquinas carecen de libre albedrío; su propósito consiste en cumplir los objetivos que establecemos. No debería preocuparnos que los robots se alcen contra nosotros, sino su mal uso por parte de las personas.

Más verosímil es que la IA conduzca a corto plazo a «dobles digitales», modelos virtuales de nosotros mismos que interactuarán unos con otros y, tras incontables simulaciones, nos ayudarán a tomar decisiones más rápidas e informadas.

ticos, libres de las restricciones del mundo físico. Uno de los problemas de este supuesto estriba en que podría no ser factible biológicamente. Para cargarse uno mismo en la nube se necesitaría presumiblemente un modelo exacto de cada una de las neuronas, junto con los recuerdos que almacenan, tan exacto que las predicciones del modelo no divergieran rápidamente del comportamiento de las neuronas reales: no es decir poco. Y aunque esta fuera una opción realista, ¿por qué querría alguien colgarse en la nube? ¿Cómo podría saberse que el modelo no ha perdido una parte esencial del yo o si siquiera es consciente? ¿Y si un ladrón le roba su identidad, en el más puro sentido de la palabra? Creo que nos aferraríamos a la blanda entidad basada en el carbono durante tanto tiempo como fuese posible.

CHERCHEZ L'HUMAIN

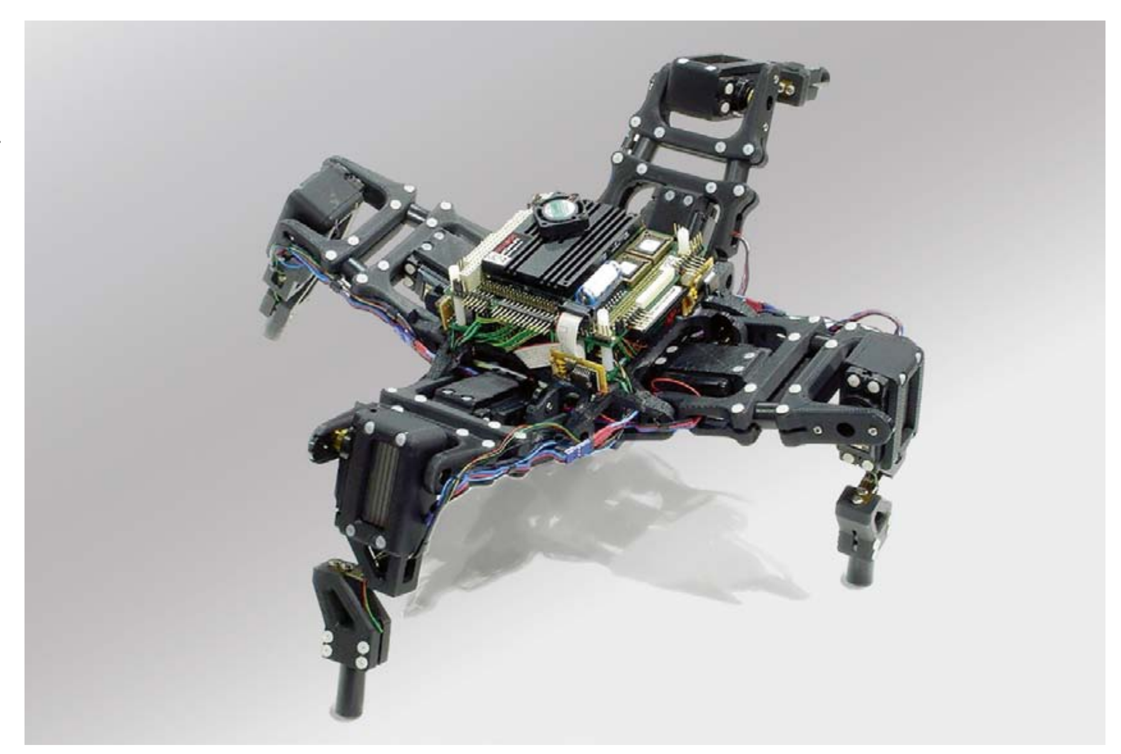
En mi opinión, el uso de las IA será más fascinante que las especulaciones habituales. En el plazo de diez años, posiblemente tendrá cada uno un «doble digital», un compañero inteligente artificial que será incluso más indispensable que los teléfonos actuales. El doble digital no necesitará moverse físicamente con usted; lo más probable es que viva en alguna parte de la nube, como ya sucede con buena parte de sus datos. Podemos observar sus inicios en asistentes virtuales como Siri, Alexa y Google Assistant. El corazón de su doble digital será un modelo de usted mismo, que habrá aprendido de todos los datos que usted haya generado en sus interacciones con el mundo digital (de los ordenadores a los sensores, altavoces inteligentes y demás dispositivos).

Cuanto mejores sean nuestros algoritmos de aprendizaje y cuantos más datos les aportemos, más exactos serán nuestros dobles digitales. Una vez que hayamos obtenido el algoritmo maestro y lo hayamos acoplado a una captura continua de nuestro flujo sensitivomotor mediante un casco de realidad aumentada y otros sensores personales, su doble llegará a conocerle mejor que sus amigos más íntimos.

El modelo y la información se conservarán en un «banco de datos», no muy distinto del banco tradicional que guarda su dinero. Muchas compañías ya existentes estarían sin duda encantadas de brindarle tal servicio. Sergey Brin ha afirmado que Google, de la que fue confundador, quiere ser «la tercera mitad de su cerebro», pero es probable que usted no desee que una parte de su mente subsista mostrándole publicidad. Le prestará una mejor atención alguna nueva clase de empresa con menos conflictos de intereses o una cooperativa de datos con personas de ideas afines.

Al fin y al cabo, la preocupación principal por la IA no es que se vuelva espontáneamente malvada, sino que quienes la controlen le den un mal uso (*cherchez l'humain*, como podrían decirse los franceses: «busca al humano»). Por tanto, la primera obligación del banco de datos será garantizar que el modelo de uno no se utilizará contra sus intereses. Hará falta una policía de IA (la policía de Turing, como la denominó William Gibson en su libro *Neuromante*, de 1984).

Si usted tiene la mala suerte de vivir en un régimen autoritario, este orden de cosas permitirá al Gobierno controlarle y reprimirle como nunca antes. Con la velocidad a la que progresa el aprendizaje automático y con los sistemas de vigilancia predictiva ya en uso, lo de *Minority Report* —donde se producen arrestos preventivos cuando alguien está a punto de cometer un delito— ya no parece tan exagerado. Y lue-



BOT INTELIGENTE: esta estrella de mar aprende con algoritmos evolutivos a simularse a sí misma. Ese tipo de algoritmo de aprendizaje automático podría combinarse con otros para crear un «algoritmo maestro», una herramienta humana de excepcional eficacia.

VICTOR ZYKOV Y JOSH BONGARD

> Su doble digital ocupará su lugar en toda clase de interacciones virtuales. Su propósito no será vivir la vida por usted, sino tomar las decisiones para las que usted no tiene tiempo, paciencia o conocimientos

go están las implicaciones de la desigualdad mientras no todos podamos permitirnos un doble.

Nuestra primera obligación, como individuos, consistirá en no confiar en nuestros dobles digitales más de lo razonable. Desde fuera, las IA pueden parecer objetivas, hasta perfectas, pero dentro tienen tantos defectos como nosotros, si no más, solo que en formas distintas. Por ejemplo, las IA carecen de sentido común y cometen errores impensables en un ser humano, como confundir a una persona que cruza la calle con una bolsa de plástico arrastrada por el viento. También presentan una tendencia a seguir las instrucciones de un modo demasiado literal (así que piénseselo dos veces antes de ordenarle a su vehículo autónomo que le lleve a tiempo al aeropuerto a cualquier precio).

Su doble digital será lo bastante similar a usted como para ocupar su lugar en toda clase de interacciones virtuales. Su propósito no será vivir la vida por usted, sino tomar las decisiones para las que usted no tiene tiempo, paciencia o conocimientos. Se leerá todos los libros de Amazon y le recomendará los pocos que querrá leer usted mismo. Si necesita un vehículo, investigará las alternativas y regateará con los bots del concesionario. Si usted busca trabajo, el doble se entrevistará a sí mismo para todos los puestos que se ajusten a sus requisitos y luego concertará entrevistas en persona para los más prometedores. Si le diagnostican un cáncer, probará todos los tratamientos y le propondrá el más eficaz (usted tendrá la obligación moral de permitir que el doble participe en investigaciones médicas). Y si está buscando un compañero sentimental, su doble acudirá a millones de citas virtuales con los dobles más idóneos. Las parejas que hagan buenas migas en el ciberespacio podrían salir en la vida real.

Su doble vivirá incontables vidas probables en el ciberespacio, de modo que es muy posible que la única que usted vivirá en el mundo físico sea la mejor versión. Cabría plantearse cuestiones filosóficas, como si las vidas simuladas son de alguna forma «reales» o si las ciberidentidades poseen alguna clase de consciencia (como en algunos capítulos de *Black Mirror*).

A algunos les preocupa que cedamos así el control de nuestra vida a los ordenadores. En realidad, nos conferirá más dominio sobre ella porque nos permitirá hacer elecciones antes imposibles. El modelo también aprenderá de los resultados de cada experiencia virtual, de modo que irá mejorando a la hora de sugerirnos qué escoger.

Ya estamos acostumbrados a que la mayoría de nuestras decisiones se tomen sin nuestra intervención consciente, pues así es ya como nuestro cerebro actúa. El doble digital será como un subconsciente muy expandido, aunque con una diferencia clave: mientras que su subconsciente solo existe en el interior del cráneo, su doble digital interactuará continuamente con los de otras personas y organizaciones. Los dobles de todos seguirán tratando de aprender de los demás y forjarán una sociedad de modelos, viviendo a la velocidad de los ordenadores, ramificándose en todas direcciones, determinando lo que haríamos si estuviéramos allí. Las máquinas nos abrirán una senda hacia el futuro. ¿A dónde nos conducirá? ¿Y a dónde elegiremos ir? IyC

PARA SABER MÁS

The master algorithm: How the quest for the ultimate learning machine will remake our world. Pedro Domingos. Basic Books, 2015.
The digital mind: How science is redefining humanity. Arlindo Oliveira. MIT Press, 2017.

EN NUESTRO ARCHIVO

Robots autodidactas. Diana Kwon en *IyC*, mayo de 2018.
Inteligencia artificial. VV.AA. Colección *Especial* (recopilación de artículos en pdf publicados en *IyC* sobre los retos científicos, técnicos y éticos que plantean las máquinas pensantes).

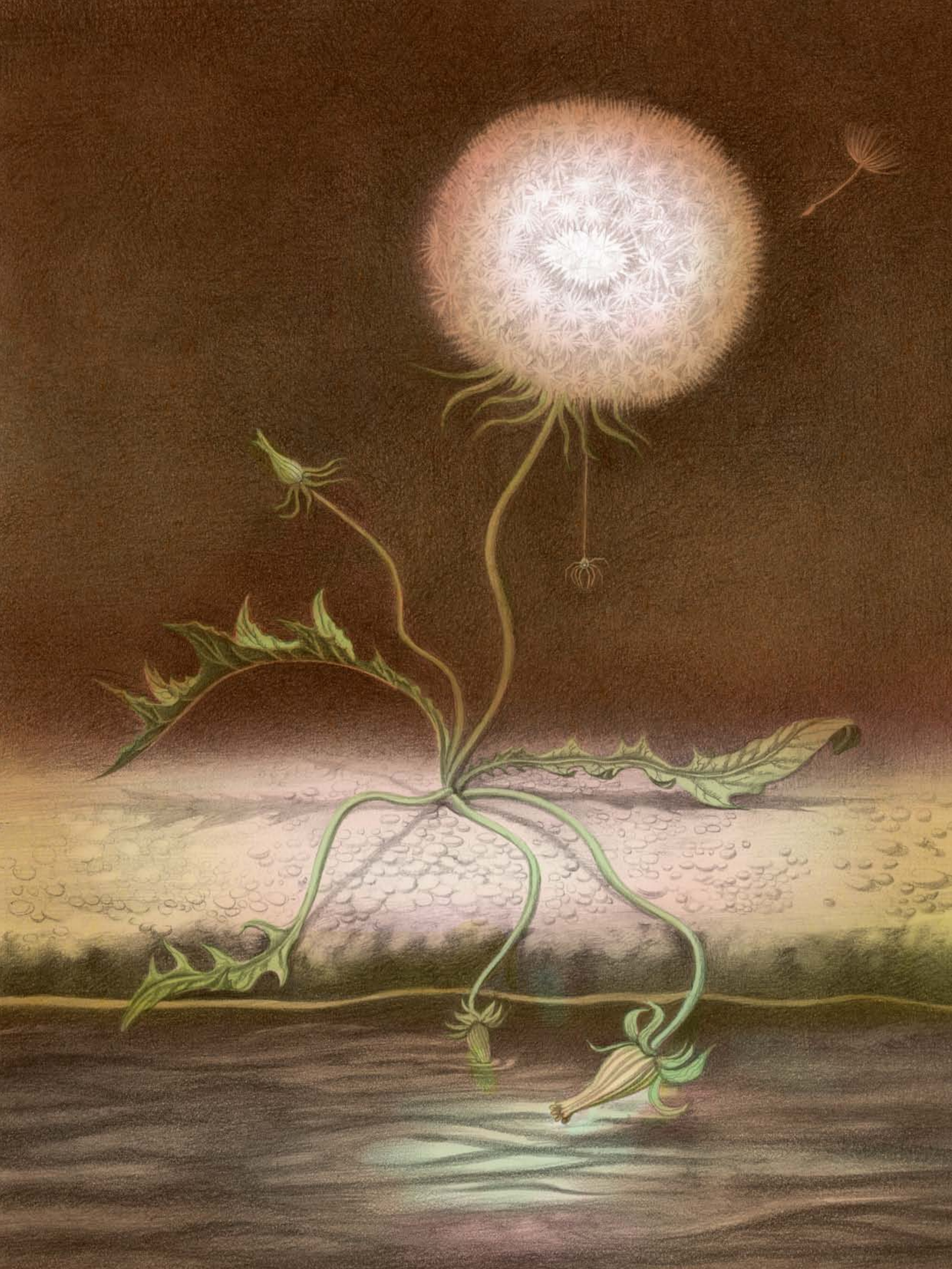
PARTE 3

Más allá de nosotros

POR QUÉ ES PROBABLE QUE SEAMOS LA ÚNICA CIVILIZACIÓN DE LA GALAXIA

SOLOS EN LA VÍA LÁCTEA

JOHN GRIBBIN :: *ILUSTRACIÓN DE ARMANDO VEVE*





OS ASTRÓNOMOS HAN ENCONTRADO MILES DE PLANETAS ALREDEDOR de otras estrellas de la Vía Láctea, y es probable que cada una de sus 100.000 millones de estrellas albergue mundos. Dada esa descomunal cantidad de planetas, parece natural esperar que algunos de ellos estén poblados por seres conscientes. A fin de cuentas, ¿por qué debería la Tierra ser única?

EN SÍNTESIS

Con tantas estrellas y planetas en la galaxia, parece razonable esperar que la vida sea moneda común. Sin embargo, la existencia de nuestra civilización obedece a un cúmulo de coincidencias que no parece probable que se repitan.

El momento en que se formó el sistema solar, su ubicación en la Vía Láctea y varias características de nuestro planeta destacan por su excepcionalidad. Además, las condiciones que desencadenaron la evolución de la vida en la Tierra podrían ser irreproducibles.

No obstante, tal vez lo más improbable de todo fuera la aparición de una especie con capacidad para desarrollar tecnología. Tales indicios apuntan a que nuestra civilización bien podría ser la única de toda la galaxia.

Sin embargo, es posible que lo sea. Quien ve con optimismo la posibilidad de que exista vida extraterrestre inteligente está pasando por alto lo que sabemos sobre el origen de nuestra especie. Si estamos hoy aquí es gracias a una larga cadena de coincidencias improbables. Muchas, muchísimas cosas tuvieron que salir bien para llegar a esta situación. De hecho, tan improbable parece esa cadena que existen buenas razones para concluir que, seguramente, seamos la única civilización tecnificada de la galaxia. (Dejaremos de lado las innumerables galaxias del resto del universo porque, como suele decirse, «en un universo infinito todo es posible».)

UN MOMENTO ESPECIAL

Las coincidencias comienzan con la producción de elementos químicos más pesados que el hidrógeno y el helio. Las primeras estrellas nacieron en nubes compuestas únicamente por estos dos elementos, producidos hace más de 13.000 millones de años en la gran explosión. Esos primeros astros no podían albergar planetas, ya que no había nada con qué formarlos: ni carbono, ni oxígeno, ni silicio, ni hierro ni otros metales (con despreocupada indiferencia hacia las sutilezas químicas, los astrónomos llaman «metal» a todo elemento más pesado que el helio).

Los metales se sintetizan en el interior de las estrellas. Después, se esparcen por el espacio cuando estas mueren y expulsan su material, en ocasiones en espectaculares explosiones de supernova. Esos elementos enriquecen las nubes interestelares, por lo que cada nueva generación de estrellas presenta una metalicidad mayor que la anterior. Cuando nació el Sol, hace unos 4500 millones de años, ese enriquecimiento llevaba ya miles de millones de años produciéndose en nuestro vecindario galáctico. Aun así, el Sol contiene un 71 por ciento de hidrógeno, un 27 por ciento de helio y tan solo un 2 por ciento de metales. Su composición refleja la de la nube que dio lugar al sistema solar, así que los planetas rocosos, incluida la Tierra, se formaron a partir de esa exigua cantidad de materiales básicos de construcción. Las estrellas más antiguas que el Sol presentan aún menos metales y, en consecuencia, menos posibilidades de tener planetas rocosos similares a la Tierra (los planetas gigantes y gaseosos, como Júpiter, se forman con mayor facilidad, pero no es tan probable que alberguen vida). Eso significa que, incluso si no somos la única civilización tecnificada de la galaxia, sí deberíamos ser una de las primeras.

UNA UBICACIÓN ESPECIAL

Nuestro emplazamiento en la Vía Láctea es también singular. Nuestra galaxia es un delgado disco de estrellas con un diámetro de unos 100.000 años luz. El Sol se encuentra a unos 27.000 años luz del centro; es decir, un poco más cerca del borde que del núcleo galáctico. En general, las estrellas más próximas al centro contienen más metales, y allí hay más estrellas viejas. Esta situación es típica en las galaxias de disco, las cuales parecen crecer desde el centro hacia fuera.

Que haya más metales parece positivo para la formación de planetas rocosos, pero puede que no lo sea tanto para la vida. Una de las causas de esa metalicidad extra es que cerca del centro hay una mayor densidad de estrellas, por lo que también abundan las explosiones de supernova. Sin embargo, su radiación resulta muy dañina para los planetas de las estrellas cercanas. El centro galáctico también alberga un enorme agujero negro, Sagitario A*, que de tanto en tanto genera intensos estallidos de radiación.

A ello hay que sumar las explosiones de rayos gamma, un tipo de cataclismo aún más energéti-

Cadena de coincidencias

Nuestra existencia requirió que muchísimas cosas salieran bien. Los seres humanos somos el resultado del momento en que nació el Sol, de su posición en la galaxia, de la extraña formación de la Tierra y de una cadena de procesos fortuitos que tuvieron lugar durante la evolución de la vida.

Momento

Si el Sol y la Tierra hubieran surgido antes en la historia de la galaxia, probablemente nuestro planeta no habría tenido los suficientes «metales» (elementos más pesados que el helio) para que apareciese la vida. Estos elementos se van creando en las estrellas, por lo que hubieron de pasar miles de millones de años hasta que se acumularon en cantidad suficiente en el sistema solar.

Lugar

El Sol se encuentra en la zona habitable de la Vía Láctea: ni demasiado cerca del centro, donde la densidad de estrellas es mayor y abundan los eventos catastróficos, como las explosiones de supernova y los estallidos de rayos gamma, ni demasiado lejos, donde las estrellas están muy dispersas y carecen de metales suficientes para formar planetas rocosos.

Condiciones planetarias

En el sistema solar, la Tierra está en el lugar apropiado para tener una temperatura templada y agua líquida (la zona de habitabilidad planetaria). La Tierra cuenta además con un campo magnético que repele la peligrosa radiación cósmica y una tectónica de placas que va reponiendo los nutrientes en la superficie y que estabiliza la temperatura. Es probable que la Luna esté detrás de estas dos bendiciones; además, evita que el eje de la Tierra se bambolee en exceso.

Vida primigenia

Los primeros organismos unicelulares (procariotas) se formaron tan solo 1000 millones de años después de que naciera la Tierra. Pero las células más complejas (eucariotas) tardaron 2000 millones de años más en surgir, gracias a la fusión fortuita de dos células. Incluso entonces, pasaron cientos de millones de años hasta que la vida pluricelular proliferó en un evento conocido como explosión cámbrica.

Civilización

Una vez que surgió la vida pluricelular, la aparición de una especie inteligente no estaba ni mucho menos garantizada. Aún no sabemos cómo logramos evolucionar tanto con respecto a nuestros parientes del reino animal, pero los estudios de ADN muestran que nuestra especie pudo haber estado muy cerca de la extinción en varias ocasiones.

Gran explosión (hace 13.800 millones de años)
Comienza la formación de estrellas (hace 13.000 millones de años)
Lenta acumulación de metales
Nace el Sol (hace unos 4500 millones de años)
Composición química del Sol
Hidrógeno
Helio
Metales (ingrediente crucial para los planetas rocosos)
Centro de la Vía Láctea
Sol
Zona de habitabilidad galáctica
Marte
Zona de habitabilidad planetaria
Venus
Mercurio
Órbitas circulares y estables
Tierra
Luna
Campo magnético
Tectónica de placas
Procariotas (hace 3400 millones de años)
Eucariotas (hace 1500 millones de años)
Explosión cámbrica (hace casi 550 millones de años)
Distintas formas de vida
Formas de vida existentes

JEN CHRISTIANSEN

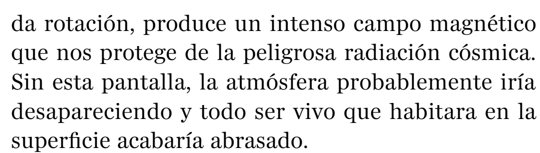
co. Los detectados en otras galaxias muestran que ocurren con mayor frecuencia en las atestadas regiones interiores que en la periferia. Uno solo bastaría para «esterilizar» el núcleo de la Vía Láctea, y las estadísticas basadas en otras galaxias indican que en la nuestra se produce uno cada millón o cada cien millones de años.

Más lejos del centro, los efectos de todos estos eventos catastróficos no son tan nocivos, pero las estrellas se hallan más dispersas y su metalicidad es menor, así que hay menos planetas rocosos, suponiendo que haya alguno. Teniendo en cuenta todo esto, astrónomos como Charles H. Lineweaver, de la Universidad Nacional de Australia, infieren que la «zona de habitabilidad galáctica» se extiende desde los 23.000 hasta los 30.000 años luz del centro de la galaxia. Esta región representa tan solo el 7 por ciento del radio de la Vía Láctea y contiene menos del 5 por ciento de sus estrellas, debido a que gran parte de ellas se aglomeran en el centro galáctico. Aunque sigue comprendiendo una gran cantidad de estrellas, todo esto ya descarta que pueda haber vida en la mayoría de los astros de la galaxia.

El Sol se halla en el centro de la zona de habitabilidad galáctica. Pero nuestro sistema solar exhibe otras idiosincrasias. Varios indicios sugieren que no es muy habitual que los planetas adopten una disposición ordenada en órbitas casi circulares, una configuración que proporciona estabilidad a largo plazo. La mayoría de sistemas planetarios son caóticos, carentes de la tranquilidad que ha permitido que la vida evolucione en la Tierra.

UN PLANETA ESPECIAL

Se habla tanto de los planetas parecidos a la Tierra que, a veces, pasamos por alto una distinción esencial. Hasta ahora, los astrónomos han encontrado unos 50 mundos de este estilo. Pero cuando dicen que un planeta es «similar a la Tierra» solo se refieren a que es un mundo rocoso, situado en la franja de habitabilidad de su estrella y aproximadamente del mismo tamaño que el nuestro. Según este criterio, el planeta más parecido a la Tierra que conocemos es Venus. Sin embargo, jamás podríamos vivir ahí. El hecho de que la Tierra sea habitable obedece a otro cúmulo de circunstancias fortuitas.

Venus y la Tierra difieren en varios aspectos importantes. Nuestro vecino tiene una corteza gruesa, no presenta signos de tectónica de placas y básicamente carece de campo magnético. La Tierra posee una corteza delgada y móvil, en la que la actividad tectónica transporta material a la superficie por medio del vulcanismo. A lo largo del tiempo, tales fenómenos han llevado minerales hasta lugares donde hemos podido extraerlos y usarlos como materia prima para nuestras creaciones tecnológicas. La tectónica de placas también trae nutrientes a la superficie y va reponiendo los que agotan las células que viven en ella, un proceso que además resulta esencial para reciclar el carbono y estabilizar la temperatura a largo plazo. La Tierra también cuenta con un gran núcleo de hierro, que, unido a su rápi-da rotación, produce un intenso campo magnético que nos protege de la peligrosa radiación cósmica. Sin esta pantalla, la atmósfera probablemente iría desapareciendo y todo ser vivo que habitara en la superficie acabaría abrasado.

Todos estos atributos de nuestro planeta se hallan directamente relacionados con la Luna, otro elemento del que carecen Venus y muchos otros planetas «parecidos a la Tierra». Creemos que la Luna se formó en los albores del sistema solar, cuando un objeto del tamaño de Marte impactó contra una incipiente Tierra, lo que causó que ambos protoplanetas se fundiesen. El material metálico de ambos se asentó en el centro de la Tierra y gran parte de la roca, más ligera, salió despedida y se convirtió en la Luna. Ello dejó a la Tierra con una corteza mucho más delgada. Sin ese impacto, sería una gran roca estéril como Venus, sin campo magnético ni tectónica de placas. Además, la compañía de un satélite tan grande como la Luna también ha servido para estabilizar nuestro planeta. Durante milenios, el eje de rotación de la Tierra se ha bamboleado a medida que el planeta orbitaba alrededor del Sol. Pero, gracias a la influencia gravitatoria de la Luna, el eje nunca puede alejarse mucho de la vertical, como sí parece haber ocurrido con Marte. Es imposible saber con qué frecuencia ocurren esos impactos que dan lugar a sistemas dobles como la Tierra y la Luna. Pero está claro que no son corrientes, y sin nuestro satélite probablemente no estaríamos aquí.

UNA VIDA ESPECIAL

Una vez que se asentó el sistema Tierra-Luna, la vida surgió con una rapidez casi indecente. Dejando de lado algunas afirmaciones controvertidas sobre indicios de la existencia de criaturas aún más antiguas, se han encontrado restos fósiles de organismos unicelulares en rocas de 3400 millones de años; es decir, con solo unos mil millones de años menos que la propia Tierra. En principio, esto parecería una buena noticia para quien espere encontrar extraterrestres. Si la vida en la Tierra comenzó tan pronto, también podría surgir en otros planetas con la misma facilidad. La pega es que, aunque la vida comenzó pronto, no hizo gran cosa durante los 3000 millones de años siguientes. De hecho, hoy en día aún viven en la Tierra algunos microorganismos que son básicamente idénticos a esas bacterias primigenias, por lo que podría argumentarse que estas son la especie más exitosa de la historia de la vida en nuestro planeta, y un excelente ejemplo de la máxima «si funciona, no lo toques».

Estas células simples, las procariotas, son poco más que bolsas de gelatina con las moléculas básicas de la vida (como el ADN). Pero no tienen un núcleo central ni estructuras especializadas, como las mitocondrias, las cuales generan la energía que la célula necesita mediante reacciones químicas. Las células más complejas, las que encontramos en los animales y las plantas, se conocen como eucariotas. Todas ellas provienen de una única fusión celular que tuvo lugar hace unos 1500 millones de años.



John Gribbin es escritor, astrofísico y profesor visitante en la Universidad de Sussex.

En aquella fusión participaron dos tipos de organismos unicelulares primordiales: bacterias y arqueas. Estas últimas se llaman así porque hubo un tiempo en que se pensó que eran más antiguas que las bacterias. Sin embargo, hoy contamos con indicios de que ambas aparecieron aproximadamente al mismo tiempo, cuando comenzó la vida en la Tierra. Eso significa que, empezara como empezara, la vida en realidad surgió dos veces. Después, la vida se ocupó de sus asuntos sin experimentar apenas cambios durante 2000 millones de años. Uno de esos asuntos consistía en engullir otras células procariotas y usar su materia prima.

Y entonces ocurrió el dramático punto de inflexión: una arquea engulló a una bacteria pero no la «digirió». La bacteria pasó a residir en la nueva célula, la primera eucariota, y evolucionó para llevar a cabo tareas específicas en su interior, permitiendo que el resto de la anfitriona se desarrollara sin preocuparse de dónde obtenía su energía. Luego la célula repitió la jugada y se convirtió en algo más complejo.

La semejanza que exhiben las células de todas las formas de vida avanzadas de la Tierra demuestra que descienden de un único ancestro unicelular: como les gusta decir a los biólogos, a nivel celular, apenas hay diferencias entre usted y un hongo. Por supuesto, el mismo proceso pudo haber sucedido en más de una ocasión. Pero, si lo hizo, las otras protoeucariotas no dejaron descendientes (probablemente porque fueron devoradas). El hecho de que hicieran falta 2000 millones de años de evolución para que eso ocurriera nos da una idea de lo improbables que debieron ser esas uniones de células.

Pero es que, incluso después, tampoco sucedió demasiado durante otros 1000 millones de años. Las primeras eucariotas se unieron para formar organismos pluricelulares. Pero, al principio, estos no eran más que criaturas planas de cuerpo blando con una estructura semejante a la de un edredón. La proliferación de formas de vida pluricelulares que condujo a la variedad de vida que hoy puebla la Tierra comenzó hace casi 550 millones de años, en un estallido de vida conocido como la explosión cámbrica. Este evento fue tan espectacular que sigue siendo el más importante del registro fósil. Pero nadie sabe por qué sucedió ni cuán probable es que ocurra en otro lugar. En última instancia, fue esa erupción de vida la que produjo una especie capaz de desarrollar tecnología y de preguntarse de dónde viene.

UNA ESPECIE ESPECIAL

Evolucionar de una especie primitiva a otra avanzada tampoco fue fácil. La historia de la humanidad está escrita en nuestros genes con tal detalle que, a partir del análisis del ADN, resulta posible determinar no solo de dónde provenían las distintas poblaciones, sino cuántas de ellas existían. Una de las conclusiones más sorprendentes es que los grupos de chimpancés que viven en África central son más diferentes entre sí genéticamente hablando que los seres humanos que habitan en extremos opuestos del mundo. Eso solo puede significar que todos nosotros descendemos de una pequeña población de humanos, posiblemente los supervivientes de una o varias catástrofes.

Los estudios de ADN determinan la existencia de dos cuellos de botella evolutivos. Hace poco más de 150.000 años, la población humana se redujo a apenas unos pocos miles —y quizá solo cientos— de parejas reproductoras. Y, hace unos 70.000 años, toda la población humana se desplomó hasta aproximadamente unos mil individuos. Esta interpretación de los datos ha sido cuestionada por algunos investigadores. Pero, si es correcta, todos los miles de millones de personas que hay actualmente en la Tierra descendemos de ese grupo, tan reducido que hoy probablemente consideraríamos en peligro de extinción a una especie menguada a números semejantes.

> Incluso si no somos la única civilización de la galaxia, debemos ser una de las primeras. De hecho, parece muy poco probable que exista otra hoy

Que nuestra especie sobreviviera, floreciera hasta convertirse en una sociedad tecnificada y creciera hasta los 7000 millones de personas es sorprendente. Algo así no parece estar ni mucho menos garantizado.

¿Qué podemos concluir? ¿Es probable que exista vida en algún otro lugar de la galaxia? Casi seguro que sí, dada la velocidad con la que apareció en la Tierra. ¿Es probable que exista otra civilización tecnificada? Casi seguro que no, dada la cadena de circunstancias que condujo a nuestra existencia. Estas consideraciones parecen indicar que no solo somos únicos en nuestro planeta, sino también en toda la Vía Láctea. Y si nuestro planeta es tan especial, resulta aún más importante conservarlo para nosotros, nuestros descendientes y todas las criaturas que moran en él. IyC

PARA SABER MÁS

The galactic habitable zone and the age distribution of complex life in the Milky Way. Charles H. Lineweaver et al. en *Science*, vol. 303, págs. 59-62, enero de 2004.
Solos en el universo. John Gribbin. Pasado & Presente, 2012.

EN NUESTRO ARCHIVO

(In)trascendencia cósmica. Caleb Scharf en *IyC*, marzo de 2015.
El fin de la mediocridad copernicana. Howard A. Smith en *IyC*, diciembre de 2017.

por Alejandro Cearreta



Alejandro Cearreta es profesor del Departamento de Estratigrafía y Paleontología de la Universidad del País Vasco y miembro del Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno de la Comisión Internacional de Estratigrafía.

¿Existe el Antropoceno?

Los expertos debaten si la huella que estamos dejando en los sedimentos de la Tierra reúne las condiciones para definir una nueva época geológica

Las fuerzas geológicas de nuestro planeta operan a tan gran escala y largo plazo que, hasta ahora, cualquier huella que los humanos hubieran dejado en él se había considerado insignificante. Sin embargo, desde hace varias décadas el impacto de nuestra actividad ha sido tan fuerte que se ha empleado el término Antropoceno para designar una nueva época [*véase* «Una historia estratificada», por Jan Zalasiewicz; Investigación y Ciencia, noviembre de 2016]. Pero ¿estamos realmente escribiendo un nuevo capítulo en la historia geológica? ¿Qué señales estamos dejando en los estratos? Desde el año 2009, el Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno de la Comisión Internacional de Estratigrafía, constituido por 35 geocientíficos de todo el mundo y del que formo parte, está evaluando está cuestión.

Una de las señales que se observan en los sedimentos son los materiales dispersados por el planeta desde los años 50 del siglo pasado, como los plásticos. Hoy, el 10 por ciento de la producción anual de hidrocarburos se destina a fabricar los plásticos que usamos en todos los ámbitos de nuestra vida (300 millones de toneladas). El 60 por ciento de los producidos en las últimas décadas (3000 millones de toneladas) han sido ya depositados en vertederos o liberados al ambiente.

Otras señales corresponden a los numerosos artefactos que construimos, en una gran variedad de formas, con materiales que escasean o no existen en la naturaleza y que podrían mostrar una gran durabilidad geológica. Ejemplos de ellos serían una muñeca hecha de plástico ABS y PVC, o un sofisticado teléfono móvil elaborado con plástico, vidrio y varios metales. Estos posibles tecnofósiles del futuro constituyen un registro físico de nuestra creciente capacidad tecnológica y tienen unas características que los diferenciarían de otros fósiles.

De modo equiparable a la clasificación biológica, podría realizarse una taxonomía de los posibles tecnofósiles desarrollados desde mediados del siglo xx. Algunos taxones genéricos serían precisamente las muñecas o los teléfonos, los cuales incluirían diferentes modelos que podríamos considerar «especies». Una «especie» de muñeca sería Barbie, comercializada por primera vez en 1959 y de la que se han vendido ya más de 1000 millones de unidades. Asimismo, una «especie» de teléfono sería el más reciente iPhone, que está disponible desde 2007 y cuenta con 1300 millones de unidades vendidas.



PLAYA CEMENTADA en la costa cantábrica formada por escorias de hierro y tecnofósiles de plástico

La diversidad total de los tecnofósiles podría estimarse del mismo modo con el que la paleontología mide la diversidad de los fósiles orgánicos o la biología calcula la biodiversidad actual, es decir, registrando el número de «especies» que existen en un momento dado. La diversidad de los posibles tecnofósiles sobrepasa la biodiversidad actual y podría equipararse a la diversidad paleontológica que ha existido en la Tierra durante toda su historia geológica. Además, su velocidad de evolución supera la de los cambios físicos que experimentan por selección natural las especies biológicas. Ello proporcionará a los tecnofósiles una resolución estratigráfica muy superior a la de los taxones fósiles de origen biótico, que ha sido el medio más común para datar las rocas del pasado.

Podemos hablar también de tecnosfera, el sistema global que incluye a los humanos y sus redes tecnológicas, un sistema geológicamente muy joven que se une a las cuatro esferas clásicas (atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera). Cada una de ellas depende de los recursos y servicios que aportan las demás. Sin embargo, la tecnosfera está perjudicando a las otras debido a su creciente demanda de materias primas y al insuficiente reciclaje de sus desechos.

El Antropoceno se inicia con el aumento exponencial en la magnitud, la velocidad y la conectividad de las actividades humanas y de sus impactos, a mediados del siglo xx. Otras etapas históricas sugeridas para su posible comienzo (la Revolución Neolítica, la colonización de América o la Revolución Industrial) no muestran los requisitos de globalidad y sincronicidad planetaria necesarios para definir un tiempo geológico.

Algunos miembros de la comunidad geológica han criticado el concepto de Antropoceno y lo han considerado como una suerte de agenda política disfrazada de época geológica. La tarea de nuestro grupo de trabajo se limita a evaluar el cambio de paradigma geológico que suponen las recientes transformaciones humanas, y esperamos presentar el informe final en los próximos tres años. La relevancia social más amplia que ha adquirido el concepto, a causa de la mayor concienciación actual sobre los daños irreversibles ocasionados por nuestro consumo excesivo de recursos naturales, se halla más allá de nuestra labor.

por Mariano Asla

Mariano Asla es profesor de filosofía en la Facultad de Ciencias Biomédicas de la Universidad Austral de Argentina.



Yo, mi cerebro y mi otro yo (digital)

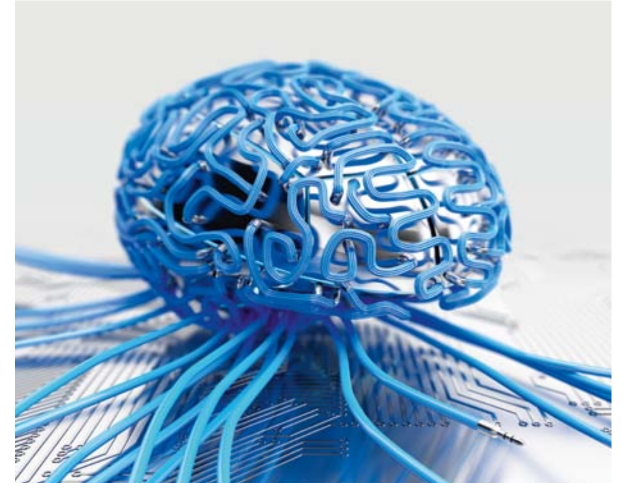
Muerte e inmortalidad en el horizonte de la transferencia mental

Al decir del filósofo Hans Jonas, la aparición de la vida introdujo en la monolítica seguridad del universo una novedad genuina: la posibilidad de dejar de ser. Por eso, ya sea que las innumerables metamorfosis de la materia y de la energía se sucedan indefinidamente o, como parece indicar la entropía, que todo se resuelva en un desenlace inexorable y frío, nada se acerca al dramatismo que esconde una sola muerte.

Pero aunque los mortales son muchos, solo el hombre es plenamente consciente de que va a morir. Solo el hombre es capaz de enfrentarse a este hecho como una cuestión teórica y como un problema práctico. A nivel teórico, la muerte representa un interrogante fundamental al que a lo largo de la historia han intentado responder, de un modo prevalente aunque no exclusivo, la filosofía y las religiones. Las más de las veces, estas respuestas sapienciales se han inclinado hacia una resignación estoica o bien han prometido algún tipo de trascendencia más allá de la desaparición del cuerpo físico. En el ámbito práctico, la muerte ha sido considerada usualmente un mal, casi siempre lo bastante indeseable como para que valga la pena intentar posponer su encuentro. De hecho, el nacimiento de la medicina se explica, en parte, como una reacción contra la muerte.

En lo esencial, esta situación permanece en la actualidad. Aunque la mejora en los sistemas de salud y en las condiciones de higiene prácticamente han duplicado la esperanza de vida en los últimos 200 años, la pálida muerte sigue siendo el final inescapable, y su pesado pie, el gran igualador... para alivio del poeta Horacio.

Con todo, a los ojos de algunos de nuestros contemporáneos este escenario está a punto de experimentar cambios drásticos. Esto se debe a que, por primera vez en la historia, la agenda de la investigación científica y médica ha comenzado a interesarse en el proceso de envejecimiento y en la muerte. De hecho, el denominado programa transhumanista, que propone el mejoramiento de la especie humana a través de la convergencia de las nuevas tecnologías, tiene la extensión indefinida de la vida como una de sus metas más distintivas. Sin embargo, la realización de este deseo dista mucho de ser sencilla, y se topa con una dificultad fundamental: los límites actuales de la longevidad humana no parecen ser mucho más plásticos. La curva de crecimiento de la esperanza de vida amenaza con la desaceleración y el amesetamiento. Nos estamos acercando, quizás, a una barrera natural. A causa de esto, las posibles vías de acción no pueden sino resultar, cuanto menos, extremas.



Mencionaré a continuación dos proyectos que se insertan en el marco de esa batalla contra el envejecimiento y la muerte: uno de matriz biológica y otro relacionado con las ciencias de la información y la inteligencia artificial. Por razones de espacio, me extenderé solo en el análisis del segundo.

La primera línea de acción, popularizada, entre otros, por el gerontólogo Aubrey de Grey, apunta a la manipulación de la biología humana. La idea es operar sobre los factores moleculares y celulares que convergen en el envejecimiento (el acortamiento de los telómeros, la acumulación de ADN dañado y mutado en el núcleo y en las mitocondrias o el estrés oxidativo, por poner solo tres ejemplos). Aunque promisorias, las investigaciones centradas en este enfoque afrontan graves dificultades, ya que el envejecimiento es un proceso multifactorial y complejo. Algunos de los mecanismos implicados en la senescencia (como la apoptosis celular) participan también en el desarrollo y diferenciación de las células durante la fase embrionaria del individuo. Nada nunca es sencillo en biología.

La segunda opción en esta contienda contra nuestra obsolescencia programada es todavía más ambiciosa y, por tanto, más radical. Tanto, que algunos filósofos y científicos argumentan que nunca va a ir más allá de la fantasía científica. Sea como fuere, otros autores como el experto en inteligencia artificial Hans Moravec, el ingeniero de Google Ray Kurzweil y el filósofo David Chalmers sostienen que los avances realmente interesantes en materia de aumento de la esperanza de vida no se van a alcanzar a través de la manipulación de la biología humana. El verdadero desafío no es, a su juicio, actuar sobre los dinamismos naturales de la vida y mejorarlos, sino, lisa y llanamente, prescindir de ellos. Alargar la existencia pero ya no en un cuerpo biológico. Movidos por el entusiasmo de los optimistas, parecen adherirse a la tesis de que solo acceden a grandes ganancias los que son capaces de hacer grandes apuestas. Veamos algunas especulaciones alrededor de esta propuesta.

De acuerdo con la clásica exposición de Chalmers, si se entiende la relación mente-cerebro en el marco de la teoría funcionalista, en principio, no sería inconcebible la posibilidad de transferir la mente humana (*mind uploading*) a un sustrato material más robusto. La clave de este proceso residiría en identificar la estructura formal e informacional que subyace a los estados mentales, para poder luego abstraerla, codificarla y «subirla» a un soporte distinto del cerebro original, de un modo análogo a como un *software* puede operar en distintos tipos de *hardware*. Ello podría lograrse de dos formas: mediante el reemplazo de los componentes materiales del cerebro por otros artificiales o mediante la construcción de un modelo de inteligencia artificial equivalente. Este programa informático, funcionalmente isomorfo a la mente del sujeto, podría animar luego una suerte de avatar y desarrollarse en una existencia virtual, o podría incluso descargarse en un cuerpo sintético y continuar su «vida» en el mundo material.

Así expuesta la teoría, a uno se le ocurren varios antecedentes remotos, de tiempos pretecnológicos. El primero es, casi siempre, la doctrina de la transmigración de las almas. Sin embargo, a pesar de ciertas similitudes superficiales, las diferencias entre ambas tesis son relevantes. A juicio de los defensores de la transferencia mental, su propuesta debe asegurar la continuidad funcional y fenomenológica de la mente humana. El sujeto debería ser capaz de mantener la función mental a lo largo de la migración, amén de ser consciente de ella y de poder llevarse consigo sus contenidos. No se daría una transferencia exitosa si se produjera una pérdida de memoria o de la autoconsciencia. Según la doctrina de la transmigración de las almas, en cambio, no resulta tan claro que el alma que se reencarna sucesivamente conserve la identidad personal y, menos aún, la identidad autopercibida o biográfica.

Un segundo precursor al que se recurre con frecuencia en busca de paralelismos es la paradoja del barco de Teseo. Sin embargo, en este punto coincido con el experto en filosofía de la mente Massimiliano L. Capuccio —y no tanto con Chalmers—, en que no se trataría del mismo tipo de proceso. En el caso del mito griego, la clave se encuentra en la cuestión de la permanencia (o no) de la identidad de un todo a través del reemplazo sucesivo de sus componentes materiales. Algo que, de hecho, ya ocurre sin ninguna espectacularidad en el desarrollo de numerosos procesos físicos y biológicos. En la transferencia mental, independientemente de que el procedimiento implique la destrucción del cerebro original o solo su copia, de que sea gradual o instantánea, lo que está en juego es algo todavía más profundo. Según Cappuccio, el núcleo del proceso descansa en la posibilidad de que «estructuras mentales puramente formales puedan ser recolocadas espacialmente, al tiempo que conserven su identidad numérica durante el proceso».

Como es natural, una posición tan antiintuitiva y ambiciosa como la de Chalmers ha suscitado una gran controversia. Se ha señalado, en primer lugar, que su énfasis en la autonomía de lo mental implica un peligroso acercamiento al dualismo ontológico de Descartes o de Platón, y aunque desde un punto de vista lógico esto no constituye *per se* una falsación, en el contexto científico y filosófico contemporáneo ciertamente resta credibilidad. También se ha objetado que esta deriva hacia el dualismo no resulta consonante con otros supuestos en los que esta propuesta parece apoyarse, sobre todo los relativos al neurodeterminismo, al funcionalismo y a la tesis de la inteligencia artificial fuerte (según la cual las máquinas serán capaces de igualar, e incluso superar, la inteligencia humana en su conjunto).

Pero más allá de las dificultades teóricas y fácticas que plantea la transferencia mental, cabe hacerse otra pregunta de tipo existencial. ¿Puede esta resolver satisfactoriamente el problema del que sabe que va a morir? Como es lógico, la respuesta depende las expectativas individuales. Por mi parte, una inmortalidad interesante no es la que se plantea responder a la cuestión genérica de «la» muerte, sino al problema particularísimo de «mi» muerte. Es decir, que es no-equívoca y suficiente. El carácter no-equívoco implica que debe asegurar la sobrevida del sujeto que muere, no de otro —no importa cuán fiel pueda llegar a ser una réplica, un continuador de mi vida es un continuador, pero no soy yo—. Que sea suficiente significa que pueda asegurar la permanencia consciente de aquello que a mí me hace ser yo. En tal sentido, y sin adentrarme demasiado en los sinuosos pasillos de la metafísica de la identidad personal, ni el cuerpo ni la mente, tomados por separado, me parecen buenos candidatos para lograr la inmortalidad que anhelo.

En el caso del cuerpo, su continuidad puede ser entendida como un signo fidedigno de permanencia de la identidad, por lo que nadie duda de que una persona dormida sigue siendo quien es. Sin embargo, esa permanencia sola, desnuda de toda consciencia, no representa el horizonte de inmortalidad más promisorio. La mente, por su parte, resulta esencial a la identidad humana y especialmente a la autopercepción de esa identidad, pero tampoco me parece que pueda asegurarla de suyo. Una mera existencia mental desprovista de todo correlato biológico (*disembodied*), alejada del marco espaciotemporal y de las contingencias del entorno (*disembedded*) tampoco se parece mucho a mi vida humana.

En definitiva, hoy en día, la vida de los hombres sigue siendo un proceso atravesado por la temporalidad y la contingencia, un proceso unidireccional, irreversible y limitado. Sin embargo, quizá sean precisamente su escasez y precariedad las que le confieren su carácter, al mismo tiempo, fascinante y dramático.

PARA SABER MÁS

The singularity is near. Ray Kurzweil. Viking, Nueva York, 2005.

Ending aging: The rejuvenation breakthroughs that could reverse human aging in our lifetime. Aubrey de Grey y Michael Rae. St. Martin's Press, Nueva York, 2007.

Ray Kurzweil and uploading: Just say no! Nicholas Agar en *Journal of Evolution and Technology*, vol. 22, n.º 1, págs. 23-36, noviembre de 2011.

Uploading: A philosophical analysis. David J. Chalmers en *Intelligence unbound: The future of uploaded and machine minds*, dirigido por Russell Blackford y Damien Broderick. John Wiley & Sons: Chichester, 2014.

Mind-upload. The ultimate challenge to the embodied mind theory. Massimiliano L. Cappuccio en *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, vol. 16, n.º 3, págs. 425-448, julio de 2017.

¿Es posible y deseable la inmortalidad biológica? Juan José Sanguineti en *¿Quiénes somos? Cuestiones en torno al ser humano*, dirigido por Miguel Pérez de Laborda, Francisco José Soler Gil y Claudia E. Vanney. EUNSA, Pamplona, 2018.

EN NUESTRO ARCHIVO

Transhumanismo: entre el mejoramiento y la aniquilación. Antonio Diéguez en *IyC*, noviembre de 2016.

Más que humanos. Hillary Rosner en *IyC*, noviembre de 2016.

por Bartolo Luque

Bartolo Luque es físico y profesor de matemáticas en la Universidad Politécnica de Madrid, donde investiga en teoría de sistemas complejos. Su labor docente y divulgativa ha sido reconocida por uno de los premios de la Real Sociedad Española de Física y la Fundación BBVA 2017.



¿Calcular nos hace humanos?

Aunque la capacidad para concebir números aproximados es común a numerosas especies, manejar cantidades exactas parece ser una facultad exclusiva de *Homo sapiens*. ¿De dónde procede?

El ser humano, aun en sus estados primarios de desarrollo, posee una facultad a la que, a falta de un nombre mejor, llamaré «sentido numérico». Esta le permite reconocer que algo ha cambiado en una colección pequeña cuando, sin su conocimiento directo, un objeto ha sido eliminado o agregado a la colección.

—Tobias Dantzing, 1954

John von Neumann fue uno de los matemáticos más brillantes del siglo xx. Una tarde de verano, el pequeño Johnnie de diez años observó que su abuela detenía su labor de ganchillo y se quedaba ensimismada mirando al infinito. Con la ingenuidad de un genio precoz, le espetó: «Abuela, ¿qué estás calculando?». Para el pequeño Von Neumann, calcular era algo natural y muy humano.

La cognición numérica, una subdisciplina de la ciencia cognitiva, pretende desentrañar las bases neuronales que subyacen al manejo de los números y a las matemáticas en general. Gracias a multitud de ingeniosos experimentos realizados desde comienzos del siglo pasado, hoy sabemos que *Homo sapiens* no es la única especie con capacidades numéricas. Algunos animales entrenados en cautividad logran efectuar comparaciones de números cuando, entre dos pilas de comida, eligen aquella con más elementos. Y, tras un período de entrenamiento, hay monos que aprenden a usar monedas para intercambiarlas por comida en condiciones controladas. Pero el fenómeno va más allá: hoy contamos con observaciones inequívocas de que, incluso en su ambiente natural, muchas especies son capaces de distinguir cuántos congéneres se encuentran en su grupo, estimar cantidades de comida, o esconder semillas para el invierno y saber después exactamente cuántos granos están ocultos en un determinado lugar.

Neuronas numéricas

¿Dónde radica el origen neuronal de esas facultades? Hace una década, el neurocientífico Andreas Nieder, hoy en la Universidad de Tubinga, y sus colaboradores entrenaron a macacos rhesus durante un año para que aprendiesen a comparar el número de elementos presentes en dos conjuntos de puntos. Después, se les introdujo en el cerebro una serie de microelectrodos con el objetivo de registrar la actividad neuronal mientras observaban colecciones de objetos con diferentes cantidades.

El resultado fue sorprendente: frente a un conjunto de un solo elemento, siempre se activaba el mismo grupo de neuronas. Otro grupo concreto de células contiguo al anterior se estimulaba ante dos elementos, otro frente a tres, y así sucesivamente. Además, cuando se activaba el grupo de neuronas asociado al número 2 (porque el animal estaba observando un dibujo con dos puntos), también lo hacían los grupos vecinos, asociados al 1 y al 3, solo que con menor intensidad. Así ocurría con los números siguientes hasta que la precisión, que decrecía con el aumento del cardinal, ya no permitía discriminar entre neuronas. Nieder había detectado la «numerosidad», el sentido innato de número aproximado, a su nivel más fundamental; un resultado que concordaba con las predicciones de algunos modelos teóricos de redes neuronales. Este mismo año, el equipo de Nieder ha logrado observar el mismo efecto en humanos.

En los últimos decenios, las investigaciones en cognición numérica han revelado que los números están presentes en nuestro cerebro antes incluso de que aprendamos a hablar. Varios experimentos muestran que los bebés de cinco meses ya pueden efectuar sumas: si escondemos tras una pantalla primero dos objetos y después otro, y acto seguido la retiramos, podremos observar la cara de sorpresa del bebé si el número de objetos que aparece entonces no es exactamente tres (en estos casos, los neurocientíficos deducen el grado de perplejidad de los bebés a partir de cuánto tiempo se quedan mirando).

Los recién nacidos distinguen visualmente dos objetos de tres y, auditivamente, la diferencia entre dos y tres sonidos. Los bebés de menos de un año pueden estimar la probabilidad de que un objeto salga de un cofre, lo que refleja la existencia de rudimentos tempranos de lógica y probabilidad. Y, a los quince meses, ya son capaces de seleccionar espontáneamente el mayor de entre dos conjuntos de juguetes. Parece, pues, que los conceptos de probabilidad, número, espacio y tiempo están presentes de manera no consciente en todos los humanos desde muy pronto.

Aritmética básica

El matemático y neurocientífico cognitivo Stanislas Dehaene, del Colegio de Francia, propugna la existencia de facultades innatas para la aritmética elemental. Como en el caso de la capacidad para distinguir colores, este sentido innato de número obedecería a un proceso evolutivo de adaptación por selección natural. El sentido de número, la numerosidad que Nieder ha detectado a nivel neuronal, nos permitiría observar un conjunto de objetos y evaluar de manera inconsciente su cantidad aproximada.

Gracias a las imágenes de resonancia magnética funcional, hoy sabemos que, cuando pensamos en cantidades, se activa un área cerebral muy concreta del lóbulo parietal inferior: el segmento horizontal bilateral del surco intraparietal, una zona profunda replicada en los dos hemisferios, la cual coincide con su análoga en primates, donde se situaban las neuronas

numéricas identificadas por Nieder. Dehaene llama de manera metafórica a esta zona del encéfalo «acumulador numérico», y sostiene que este conjunto de redes de neuronas es capaz de realizar de manera no consciente estimaciones y comparaciones numéricas aproximadas. La hipótesis se apoya en dos descubrimientos experimentales clave: el «efecto de distancia» y el «efecto de magnitud».

El primero se manifiesta en forma de un aumento sistemático del tiempo de respuesta de un sujeto, tanto humano como no humano, al comparar dos números a medida que estos se encuentran más y más cercanos. Así, en los experimentos se observa que los sujetos tardan más tiempo en decidir si 41 es mayor que 35 que en responder a la misma pregunta con los números 48 y 35.

El segundo efecto, el de magnitud, es similar, pero concierne al tamaño de los números comparados: las comparaciones consumen más tiempo en parejas de números que se encuentran a igual distancia a medida que estos son más y más grandes. Ninguno de estos fenómenos debería producirse si nuestra mente trabajara con números exactos, como ocurre en una computadora, que no sufre estos efectos. Sin embargo, tienen sentido si nuestro cerebro trabaja con números aproximados, como sugieren los resultados de Nieder y sus colaboradores.



DURANTE LA ÚLTIMA DÉCADA se han detectado las bases neuronales de un sentido innato de «numerosidad».

Un rasgo muy humano

Todas las pruebas apuntan a que la evolución nos ha dotado de una representación no verbal y aproximada de los números. Entonces, ¿calcular nos hace humanos? La posibilidad de concebir números aproximados se presenta como un logro evolutivo prácticamente universal, ya que ha sido observada en insectos, peces, aves, mamíferos e incluso plantas. No obstante, la noción y el manejo de números exactos sí parecen ser exclusivos de nuestra especie. La numerosidad incluye la capacidad para combinar cantidades mediante operaciones elementales, como la suma y la resta. Sin embargo, parece que otras operaciones más complejas, como la multiplicación, no son intuitivas, por lo que para adquirirlas no nos quedaría más remedio que educarnos.

Dehaene propone que nuestras facultades numéricas innatas han servido como soporte intuitivo a la representación simbólica. Así, las habilidades aritméticas serían el resultado de la integración de estas dos representaciones. El sentido innato de numerosidad permite al niño percibir de forma intuitiva e inconsciente que un conjunto tiene dos elementos; después, la educación lo capacita para asociar esa percepción con la palabra *dos* y con la cifra «2». Según Dehaene, el acumulador es capaz de determinar algunas verdades matemáticas, como que un objeto más otro dan como resultado dos objetos. En cambio, algo del estilo de 8 – 3 = 5 no parece una verdad tan inmediata, por lo que requiere la integración de las representaciones verbales y cuantitativas de los números.

Que el acumulador sea el producto de millones de años de evolución tiene todo el sentido del mundo. Pero que haya zonas del cerebro especializadas en la matemática simbólica moderna, cuando esta disciplina cuenta menos de 3000 años, es cuando menos chocante. Para sortear esta aparente paradoja, Dehaene propone la hipótesis del «reciclaje neuronal». ¿Qué procesos neuronales nos permiten adquirir facultades cognitivas inventadas recientemente en la historia evolutiva, como la lectura? Si la lectura es una invención cultural moderna, ¿cómo es posible que existan áreas específicas del cerebro asociadas a ella?

Según la hipótesis del reciclaje neuronal, las funciones cognitivas advenedizas desde el punto de vista evolutivo «reciclan» circuitos cerebrales ya existentes y dedicados a propósitos similares. Gracias a la plasticidad neuronal (la capacidad del cerebro para reorganizar la estructura cortical a través del aprendizaje), la corteza puede adaptarse y acometer funciones que nunca habían sido necesarias en nuestra historia evolutiva.

La idea es parecida al concepto de exaptación: el proceso por el que un mecanismo que inicialmente surgió como respuesta a una adaptación específica acaba usándose para otra distinta. El ejemplo clásico son las plumas de las aves: aunque en un principio surgieron debido a la necesidad de regular la temperatura, acabaron adaptándose para el vuelo. En el caso del reciclaje neuronal, no necesitamos los genes ni largos tiempos de evolución. Facultades cognitivas como la lectura o la escritura, ausentes en nuestro cerebro al nacer, emergen una vez que se reorientan algunos circuitos neuronales ya preexistentes y dedicados a realizar funciones similares. En el caso de las matemáticas, nuestro cerebro usaría dos formatos para la representación numérica: uno innato y aproximado, que compartiríamos con muchas especies, y otro simbólico, propio de los humanos y resultado del reciclaje de circuitos previos asociados al lenguaje natural.

Es un lugar común que no hay pensamiento sin lenguaje natural. Para el pequeño Von Neumann, no había pensamiento sin cálculo: «Abuela, ¿qué estás calculando?». La respuesta de la anciana consistió en una leve sonrisa y un cariñoso beso en la frente; algo también muy humano. MC

PARA SABER MÁS

The number sense: How the mind creates mathematics. Stanislas Dehaene. Oxford University Press, 2011.

Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. Andreas Nieder, David J. Freedman y Earl K. Miller en *Science*, vol. 297, págs. 1708-1711, septiembre de 2002.

Single neurons in the human brain encode numbers. Esther F. Kutter et al. en *Neuron*, septiembre de 2018 (en prensa).

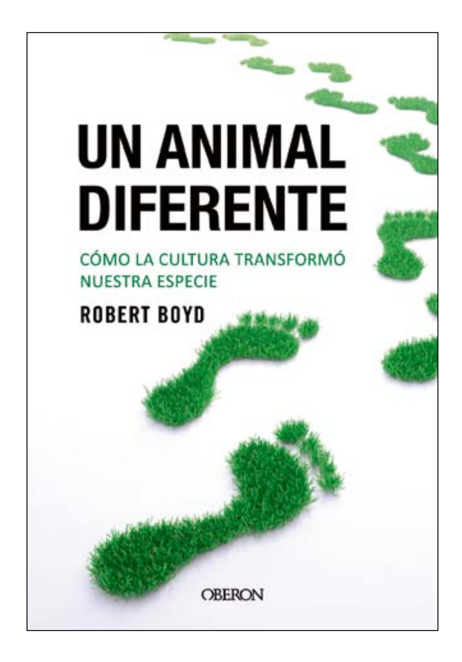
EN NUESTRO ARCHIVO

¿Cómo calcula nuestro cerebro? Stanislas Dehaene en *IyC*, octubre de 1997.

Bases biológicas de la aritmética elemental. Stanislas Dehaene en *MyC* n.º 25, 2007.

Neuronas para calcular. Andreas Nieder en *MyC* n.º 56, 2012.

El paraíso logarítmico perdido. Bartolo Luque en *IyC*, marzo de 2014.



UN ANIMAL DIFERENTE
CÓMO LA CULTURA TRANSFORMÓ NUESTRA ESPECIE
Robert Boyd
Oberon, 2018

Evolución cultural

Lo que nos hace genuinamente humanos

¿Qué hace especiales a los humanos? ¿Acaso es, como se declara a menudo, nuestra inteligencia superior, que nos sitúa en una posición de privilegio sobre el resto de los organismos? Robert Boyd, profesor de evolución humana y cambio social en la Universidad Estatal de Arizona, rechaza en *Un animal diferente* esa socorrida respuesta, como ya había resuelto hace más de diez años junto con Peter J. Richerson en *Not by genes alone: How culture transformed human evolution* (University of Chicago Press, 2006) y, ya antes, en *The origin and evolution of cultures* (Oxford University Press, 2005). Inspirándose en la genética de poblaciones, aquí el autor deja de lado la cuestión de la singularidad humana y se pregunta el porqué de nuestro éxito ecológico y capacidad de adaptación.

El área de distribución geográfica de una especie designa la superficie que esta ocupa, mientras que su ámbito ecológico hace referencia al conjunto de hábitats en los que vive. Ambos conceptos revisten utilidad, ya que constituyen una medida orientadora de cuán adaptable es una especie. A igualdad de condiciones, la especie con un ámbito más extenso podrá funcionar en un mayor número de entornos. Los humanos presentan la distribución geográfica y ecológica más amplia de todos los vertebrados terrestres.

Podríamos pensar que la expansión humana a través del globo constituye un fenómeno reciente posibilitado por la agricultura y la producción industrial. Sin embargo, no ocurrió así. A comienzos del Holoceno, hace aproximadamente unos 10.000 años, numerosos pueblos de cazadores-recolectores habían ocupado ya casi todas las zonas del globo, salvo la Antártida y unas cuantas islas remotas. Vivían en todos los entornos, desde las pluviselvas africanas y los desiertos de Asia central hasta las riberas heladas del océano Ártico.

La evolución cultural acumulativa es la gran ventaja de los humanos. Nuestra capacidad para aprender unos de otros aportó un ingrediente esencial para el éxito de la especie

Ninguna otra especie ha llegado a tanto. ¿Y qué es lo que podría explicar nuestro afán viajero, sino el hecho de contar con un potente cerebro? Sin embargo, el ser humano no se adapta a una amplia diversidad de entornos cambiantes mediante la aplicación de la inteligencia individual para resolver problemas, sino a través de una adaptación cultural acumulativa y, a largo plazo, mediante la selección darwinista entre culturas con diferentes normas sociales y valores morales.

Todo ello no es una mera interferencia humana en el mundo natural. Boyd propone que la cultura humana se inscribe en dicho mundo: pertenece a la biología de nuestra especie no menos que la pelvis o el espesor del esmalte que recubre los dientes. La cultura convierte al ser humano en un animal muy peculiar. El estudio de la evolución de nuestra especie se centra así en la dinámica de la información transmitida a través de la cultura. Al respecto, cabe señalar que, sobre todo, poseemos el lenguaje.

Del resto de los primates nos distingue la amplia variabilidad de expresiones de conducta, tanto entre individuos como entre comunidades. Una variabilidad de la que dan fe los trabajos de los antropólogos culturales, quienes investigan las sociedades primitivas, y de los historiadores, que sacan a la luz la evolución de los pueblos en el curso de los siglos. El resultado no tiene nada que ver con lo que nos cuentan los primatólogos sobre las comunidades de chimpancés y otros simios. Su cooperación se limita a una serie de comportamientos estandarizados, como el del aseo mutuo, o las tradiciones asociadas al empleo de herramientas.

En este planteamiento cultural, la selección favorece una psicología que provoca que muchos individuos abracen determinadas creencias por la sencilla

razón de que tales creencias son mantenidas por otros. Incluso la más sencilla de las sociedades de cazadores-recolectores depende de herramientas y conocimientos demasiado complejos para que cada sujeto hubiera podido adquirirlas por sí mismo. La cultura es una suerte de almacén de conocimientos acumulados, locales y tácitos. La evolución cultural acumulativa constituye la gran ventaja distintiva de los humanos. Nuestra capacidad para aprender unos de otros aportó un ingrediente esencial para convertirnos en la especie exitosa que somos [*véase* «La evolución de nuestra excepcionalidad», por Kevin Laland, *en este mismo número*]. La evolución cultural nos ha conducido hasta el pináculo de especie dominante sobre la Tierra. Pero no todas las consecuencias son positivas: las ideas mal adaptadas y las creencias falsas pueden propagarse a través de imitaciones ciegas.

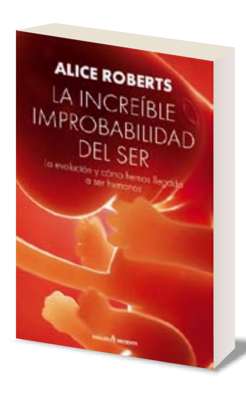
Nuestra capacidad para aprender fijándonos en los demás y nuestra confianza mutua explican la centralidad de las normas sociales y por qué los humanos se han mostrado tan cooperadores a lo largo del tiempo. Incluso en las sociedades primitivas, la cooperación excedía con mucho la desplegada por cualquier otra especie. En la naturaleza, la cooperación se explica fundamentalmente por el parentesco, pero no así en la especie humana. Milenios de evolución cultural acumulativa han ayudado a tejer una red mundial de especializaciones e intercambios. Peculiar de los humanos es la cooperación en grupos extensos de individuos, sin parentesco reseñable, para alcanzar bienes comunes [*véase* «Los orígenes de la moralidad», por Michael Tomasello, *en este mismo número*].

La cooperación en el interior de grandes grupos exige sistemas de normas reforzados por sanciones. En sociedades mayores y más complejas, la cooperación y la provisión de bienes públicos dependen de manera crucial de la sanción coercitiva de las instituciones, la policía y los tribunales de justicia. Las normas sociales cooperativas pueden adquirir multitud de formas. Las sociedades han desarrollado un amplio repertorio de códigos morales: de los contratos matrimoniales a los regímenes políticos pasando por las leyes sobre la herencia. Sociedades y grupos culturales compiten sobre la base de esos códigos diferentes, que varían en su capacidad de sobrevivir en un entorno cambiante. A modo de ejemplo, el cristianismo prevaleció sobre el paganismo en el Imperio romano porque este último tenía unas tradiciones de ayuda mutua muy débiles, en tanto que el cuidado solícito de los enfermos en las comunidades cristianas redujo la mortalidad e incrementó el bienestar.

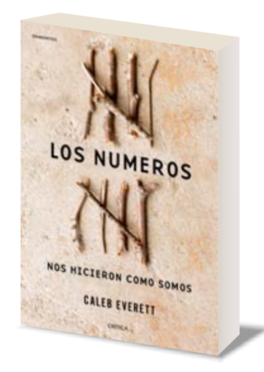
—Luis Alonso

NOVEDADES

Una selección de los editores de **INVESTIGACIÓN Y CIENCIA**



LA INCREÍBLE IMPROBABILIDAD DEL SER
LA EVOLUCIÓN Y CÓMO HEMOS LLEGADO A SER HUMANOS
Alice Roberts
Pasado & Presente, 2018
ISBN: 9788494769467
400 págs. (29 €)

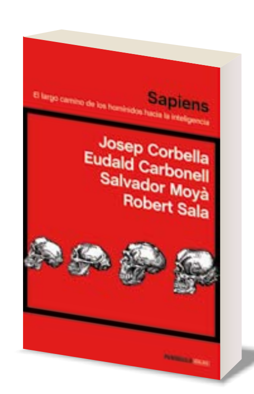


LOS NÚMEROS NOS HICIERON COMO SOMOS
Caleb Everett
Crítica, 2018
ISBN: 978-84-9892-999-7
304 págs. (19,90 €)


LOS ORÍGENES DE LA CREATIVIDAD HUMANA
Edward O. Wilson
Crítica, 2018
ISBN: 978-84-9199-000-0
256 págs. (22,90 €)



SAPIENS
EL LARGO CAMINO DE LOS HOMÍNIDOS HACIA LA INTELIGENCIA
Josep Corbella, Eudald Carbonell, Salvador Moyà y Robert Sala
Ediciones Península, 2018
ISBN: 978-84-9942-743-0
176 págs. (12,90 €)



Recopilación de Daniel C. Schlenoff

NOVIEMBRE



1968



1918



1868

1968

El misterio de los aceros

«¿Puede conseguirse que los aceros aleados sean a la vez tenaces y dúctiles? Una de las propiedades que más preocupa a ingenieros y científicos especialistas en materiales es la fractura. El ámbito de los problemas de fractura es amplio: va desde el hundimiento catastrófico de puentes y la rotura de depósitos, oleoductos y piezas de maquinaria hasta consideraciones básicas tales como de qué modo se separan los átomos cuando se rompe un monocristal metálico. Tanto los cálculos como la experimentación muestran que los aceros que usan los ingenieros deben ser unas diez veces más robustos de lo que en realidad hallan los ingenieros. La historia de los aceros modernos constituye un ejemplo de la clase de investigaciones que contribuyen a revelar y definir los límites superiores de la resistencia y ductilidad que cabría esperar que alcanzaran los materiales al uso durante la próxima década.»

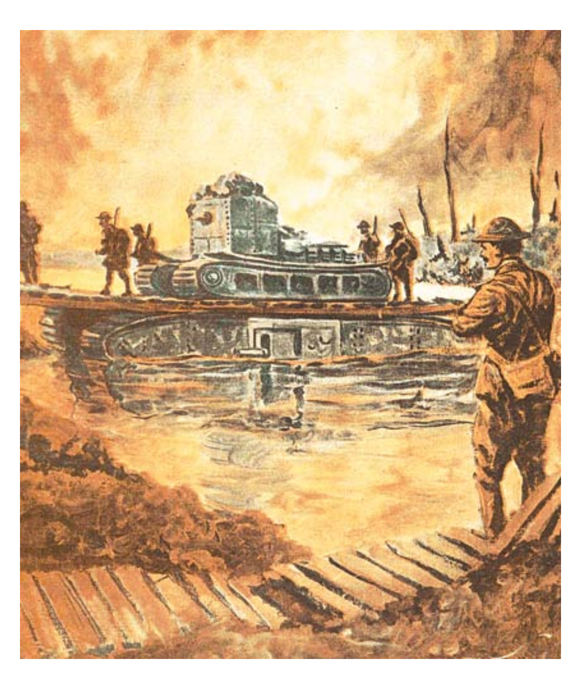
1918

Llega la paz

«La ola de regocijo histérico que recorrió EE.UU. cuando nuestro presidente anunció la firma de una tregua despertó muchos sentimientos; pero ninguno más fuerte que la convicción de que, con la muerte del militarismo alemán, había muerto también la omnipresente amenaza de guerra y el siempre creciente lastre del armamento naval y militar. Con la rendición de la flota alemana y la desaparición de Alemania como potencia naval de primer orden, EE.UU. vuelve a ascender a su antiguo puesto de segunda gran potencia naval del mundo. Además, el país se encontrará comprometido, a través de su Gobierno, con la noble idea de perpetuar nuestra alianza para la guerra como una alianza para la paz, mediante la formación de una gran Liga de Naciones, uno de los primeros frutos de la cual será esa limitación de armamentos ante la que los belicosos enloquecidos alemanes mostraban una oposición insalvable.»

La invasión de la gripe

«En la reciente epidemia de gripe, el Servicio de Salud de EE.UU. debió abordar una misión de una medida muy superior a su capacidad. Esa arremetida de la parca (usando la expresión de un reportero novel) halló al país desprevenido. El Servicio de Salud respondió bien, dadas las circunstancias. El Congreso aprobó a toda prisa una asignación urgente de un millón de dólares. El Cuerpo del Servicio Médico Voluntario facilitó una lista de mil médicos, a quienes se ofreció telegráficamente puestos temporales. Con ayuda de la Cruz Roja Americana se consiguieron enfermeras, aunque en número exiguo. Pero todas esas medidas dejan un regusto a improvisación; y un marciano recién llegado sin duda tendría la impresión, ante los últimos acontecimientos, de que nunca antes nuestro país fue visitado por una epidemia. De lo contrario (podemos suponer al iluminado forastero diciéndose a sí mismo), esos terrícolas habrían tenido la maquinaria dispuesta para ponerla en marcha.»



1918: Acompañadas del último modelo de tanque, el Whippet, vemos a estas tropas cruzando el Canal del Norte en Francia. Se emprendía el último esfuerzo para acabar la I Guerra Mundial.

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. CXIX, N.º 19, 9 DE NOVIEMBRE DE 1918

1868

Mosquitos comestibles

«El doctor Livingstone, al relatar sus aventuras en el lago Nyassa [conocido también como lago Malawi], nos habla de una curiosidad con la que se tropezó: “Durante una parte del año, los habitantes de la zona norte del lago cosechan un singular alimento. Cuando nos acercábamos al límite norte en esa dirección, se veían nubes, como de humo desprendido de millas de hierba ardiendo, que se desviaban hacia el sureste. Navegamos a través de una de esas nubes y descubrimos que no era ni humo ni bruma, sino incontables millones de minúsculos mosquitos llamados en conjunto *kungo* (nube de niebla espesa). Llenaban el aire hasta una gran altura y pululaban sobre el agua con demasiada rapidez para hundirse en ella. La gente recolectaba aquellos insectos de noche para cocerlos en forma de gruesas tortas que degustaban como un manjar, con millones de mosquitos en cada una de ellas. Su sabor no es distinto al del caviar ni al de los saltamontes salados”.»

Recato y manía

«La manía del velocípedo empieza a asentarse, y con el inicio de los meses primaverales podemos esperar que nuestros parques y carreteras se abarroten de este agradable y barato sustituto del caballo. El velocípedo de dos ruedas no es exactamente el preferido para uso general, ya que a los novatos les cuesta mantenerse erguidos sobre él. Para todos los usuarios sería más deseable un vehículo finamente ajustado con dos ruedas traseras. Las damas, por razones obvias, necesitan algo de ese tipo; a menos que vistan pantalón bombacho, no se atreverán a montar en la máquina de dos ruedas.»



MATEMÁTICAS

Una pregunta sin respuesta

Toby S. Cubitt, David Pérez-García y Michael Wolf

Tres matemáticos han demostrado que el problema del salto espectral, clave en física, es imposible de resolver.

HISTORIA DE LA CIENCIA

Emmy Noether, el centenario de un teorema

David E. Rowe

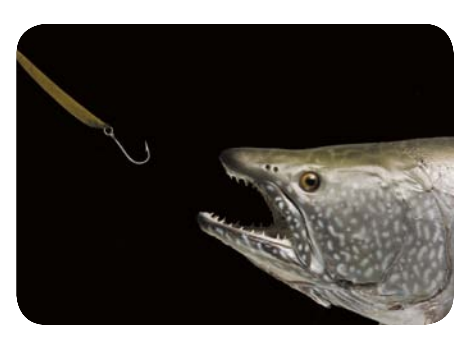
Al demostrar que a toda simetría continua de un sistema físico le corresponde una magnitud conservada, esta eminente matemática marcó el desarrollo de la física teórica.

ECOLOGÍA

Impacto ecológico de la pesca deportiva

Richard Conniff

Repoblar ríos y lagos con peces para la pesca recreativa favorece a los pescadores pero daña a los ecosistemas.





INFORME ESPECIAL
ESTADO DE LA CIENCIA GLOBAL 2018

UNA MIRADA AUTOCRÍTICA

Replantear la financiación

John P. A. Ioannidis

Cómo superar la crisis de reproducibilidad

Shannon Palus

Hacia una ciencia más interdisciplinaria

Graham A. J. Worthy y Cherie L. Yestrebsky

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
DIRECTORA GENERAL
Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL
Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz, Bruna Espar Gasset
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN
EDITOR IN CHIEF AND SENIOR VICE PRESIDENT
Mariette DiChristina
PRESIDENT Dean Sanderson
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek

DISTRIBUCIÓN
para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca - Trigo, 39 - Edificio B
28914 Leganés (Madrid)
Tel. 916 657 158
para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona

PUBLICIDAD
Prensa Científica, S. A.
Tel. 934 143 344
publicidad@investigacionyciencia.es

SUSCRIPCIONES
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Tel. 934 143 344 - Fax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Precios de suscripción:

	España	Extranjero
Un año	75,00 €	110,00 €
Dos años	140,00 €	210,00 €

Ejemplares sueltos: 6,90 euros
El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.



COLABORADORES DE ESTE NÚMERO
Asesoramiento y traducción:
Andrés Martínez: *Apuntes* y *La esencia de nuestra mente*; Javier Grande: *Apuntes* y *Solos en la Vía Láctea*; Marián Beltrán: *La evolución de nuestra excepcionalidad*; J. Vilardell: Tecno sapiens y *Hace...*; Gonzalo Claros: *El problema más difícil* y *¿En qué se distingue nuestro cerebro?*; Marco Ríos: *Hablar a través del tiempo*; Lorenzo Gallego: *El último homínino* y *Darwinismo urbano*; Fabio Teixidó: *Los orígenes de la moralidad* y *¿Por qué luchamos?*; José O. Hernández Sendín: *Nuestros dobles digitales*; Alfredo Marcos: *Yo, mi cerebro y mi otro yo (digital)*

ISSN edición impresa 0210-136X Dep. legal: B-38.999-76
ISSN edición electrónica 2385-5665

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. de Caldes, km 3
08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España